

10529
15



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"CUAUTITLÁN"**

**ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL
DEL NOPAL VERDURA SOMETIDO A
DIFERENTES CONDICIONES DE
ALMACENAMIENTO.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

P R E S E N T A

JAIME JIMÉNEZ GUZMÁN

ASESOR : IBQ LETICIA FIGUEROA VILLARREAL.

ASESOR: M.C. ALMA VIRGINIA LARA SAGAHÓN.

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO DE MEX.

200
3

1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLAN



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Estimación de la vida útil del nopal verdura sometido a diferentes condiciones de almacenamiento.

que presenta el pasante: Jaima Jiménez Guzmán
con número de cuenta: 9755749-B para obtener el título de :
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 6 de septiembre de 2002

PRESIDENTE

I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas
I.B.Q. Leticia Figueroa Villarreal

VOCAL

SECRETARIO

I.B.Q. Saturnino Maya Ramírez

PRIMER SUPLENTE

M. en C. Carolina Moreno Ramos

SEGUNDO SUPLENTE

I.A. Miriam Alvarez Velasco

2

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

AGRADECIMIENTO A MIS PADRES

Doy gracias a Dios por darme la dicha de tener a dos maravillosas personas; a quienes no les fue suficiente darme la vida. Gracias por prestarme a esas dos lindas personas de gran corazón que me brindan amor y respeto. Quienes en su camino por la vida me han proyectado su energía en la lucha contra las adversidades, su entrega a la vida, el hogar y el éxito. Todo ello siendo en todo momento humildes.

Máma; por que desde el primer día que me tuviste en tus brazos me has cobijado y no has permitido que desvíe mi camino. Con tu fe y entrega a la vida has hecho de mi el hombre más fuerte del mundo. Y aunque siempre a mi lado, me has dejado caer para aprender a levantarme y cuanto más te he necesitado has estado ahí a mi lado.

Pápa; por que con tu ejemplo me has hecho responsable. Por que para ti no hay obstáculo que no se pueda derribar, y con ello inyectas a mí ser el valor del éxito. Gracias por enseñarme a no desfallecer en la lucha. Siempre por eso y más.

A ambos por todo lo recibido, les ofrezco mi amor y cada uno de los éxitos que coseche.

ÍNDICE GENERAL

I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	2
III. OBJETIVOS	4
CAPITULO I ANTECEDENTES	5
1.1 PRODUCCIÓN DE OPUNTIAS EN MEXICO	5
1.2 TAXONOMÍA	9
1.3 PLANTACIÓN DEL NOPAL	10
1.4 ESTRUCTURA DEL NOPAL	11
1.4.1 LA RAIZ	12
1.4.2 EL TALLO	13
1.4.3 LA EPIDERMIS	14
1.4.4 LAS AREOLAS	14
1.5 COMPOSICIÓN QUÍMICA	14
1.6 FISILOGÍA DEL NOPAL	15
1.6.1 FOTOSÍNTESIS	15
1.6.2 FIJACIÓN DEL CO ₂ Y PRODUCCIÓN DE CARBOHIDRATOS	16
1.6.3 RESPIRACIÓN	20
1.6.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESPIRACIÓN	23
1.6.5 FACTORES QUE MODIFICAN EL RITMO DE LA RESPIRACIÓN	26
1.7 EL ESTUDIO Y LA MEDICIÓN DE LA RESPIRACIÓN	26
1.7.1 COEFICIENTE RESPIRATORIO E INTENSIDAD RESPIRATORIA.	28
1.8 EL AGUA EN LOS ALIMENTOS	28
1.9 ATMÓSFERAS MODIFICADAS	29
1.9.1 DEFINICIÓN DE ATMÓSFERA MODIFICADA	30
1.9.2 GENERACIÓN DE LA ATMÓSFERA MODIFICADA	30
1.9.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ALMACENAMIENTO DE ATMÓSFERA MODIFICADA.	31
1.10 PELICULAS PLASTICAS	32
1.10.1 CARACTERÍSTICAS DE PVC	32
1.10.2 CARACTERÍSTICAS DEL POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	33

CAPITULO II MATERIALES Y MÉTODOS 36

2.1	CUADRO METODOLÓGICO	36
2.2	CARACTERÍSTICAS DEL NOPAL Y CONDICIONES EXPERIMENTALES	37
2.3	MEDICIÓN DE LA INTENSIDAD RESPIRATORIA	37
2.4	MEDICIÓN DE LA PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO	37
2.5	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA DETERMINAR LAS CURVAS DE INTENSIDAD RESPIRATORIA.	37
2.6	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR LA INTERACCIÓN DEL ENVASE, LA TEMPERATURA Y EL DESESPINADO SOBRE LA PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO.	38
2.7	DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA ESTIMAR LA INTERACCIÓN DEL ENVASE, LA TEMPERATURA Y EL DESESPINADO SOBRE LA INTENSIDAD RESPIRATORIA.	39

Capitulo III RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS 42

3.1	CURVAS DE LA INTENSIDAD RESPIRATORIA EN DIFERENTES CONDICIONES EXPERIMENTALES.	42
3.1.1	EFEECTO DEL DESESPINADO EN LA INTENSIDAD RESPIRATORIA DEL NOPAL	46
3.1.2	EFEECTO DE LAS HORAS DEL DÍA EN LA INTENSIDAD RESPIRATORIA DEL NOPAL	46
3.2	EFEECTO DEL ENVASE, DE LA TEMPERATURA Y EL DESESPINADO SOBRE LA PERDIDA FISIOLÓGICA DE PESO DEL NOPAL.	48
3.2.1	EFEECTO DEL ENVASE Y DE LA TEMPERATURA EN LA PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO.	48
3.2.2	EFEECTO DEL ENVASE EN LA PÉRDIDA FISIOLÓGICA PESO DEL NOPAL.	52
3.2.3	EFEECTO DEL DESESPINADO EN LA PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO DEL NOPAL.	53
3.2.4	EFEECTO DE LA TEMPEARATURA EN LA PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO DEL NOPAL	53
3.3	EFEECTO DEL ENVASE DE LA TEMPERATURA Y EL DESESPINADO SOBRE LA INTENSIDAD RESPIRATORIA DEL NOPAL.	56
3.3.1	EFEECTO DE LA INTERACCIÓN TEMPERATURA- TIEMPO EN LA INTENSIDAD RESPIRATORIA.	56
3.3.2	EFEECTO DE LA INTERACCIÓN ENVASE- DESESPINADO- TIEMPO EN LA INTENSIDAD RESPIRATORIA.	60



CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	68
ANEXO	66
BIBLIOGRAFÍA	68

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción del nopal en México.	6
Tabla 2. Taxonomía del nopal.	9
Tabla 3. Composición química de pencas del nopal.	14
Tabla 4. Valores de permeabilidad de gases y al vapor de agua de diferentes polímeros.	35
Tabla 5. Resultados de la intensidad respiratoria en las diferentes condiciones experimentales estudiadas.	42
Tabla 6. Resultados de análisis de varianza de intensidad respiratoria.	43
Tabla 7. Resultados del experimento para evaluar el efecto de envase, la temperatura y el espinado en el 10% de la pérdida fisiológica del nopal.	48
Tabla 8. Resultados de análisis de varianza para evaluar el efecto del envase, la temperatura y el espinado en el 10% de la pérdida fisiológica de peso del nopal.	49
Tabla 9. Resultados promedios del efecto de la interacción envase-temperatura en el 10% de la pérdida fisiológica de peso del producto.	49
Tabla 10. Prueba de rango múltiple de Duncan para comparar medias de los tratamientos envase- temperatura.	50
Tabla 11. Resultados del experimento para evaluar el efecto del envase- temperatura- espinado en la intensidad respiratoria del nopal.	56
Tabla 12. Resultados del análisis de varianza para evaluar el efecto del tipo de envase, la temperatura y el desespinado en la intensidad respiratoria del nopal.	57
Tabla 13. Resultados promedios del efecto de la interacción temperatura- tiempo en la intensidad respiratoria del nopal.	58
Tabla 14. Promedio del efecto de la interacción envase- espinado- tiempo en la intensidad respiratoria del nopal.	60

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.	Superficie sembrada y cosechadas del nopal Opuntia "Ficus-Indica" (nopalitos) en México en el año de 1999 y 2000.	7
Gráfica 2	Producción del nopal Opuntia "Ficus- Indica (nopalitos) en México en el año de 1999 y 2000.	8
Gráfica 3.	Comparación de la IR promedio (\pm error estándar) obtenidos a 4 25°C. Composición química de pencas del nopal.	44
Gráfica 4	Valores de permeabilidad de gases y al vapor de agua de diferentes polímeros.	44
Gráfica 5.	Comparación del desespinado del nopal en la intensidad respiratoria promedio (\pm error estándar).	46
Gráfica 6.	Comparación de cuatro diferentes horas del día en la intensidad respiratoria promedio (\pm error estándar).	46
Gráfica 7.	Comparación de los tratamientos envase- temperatura por prueba de rango múltiple de Duncan.	50
Gráfica 8	Promedio de los resultados de la pérdida fisiológica de peso del 10% del nopal en diferentes condiciones de envase y temperatura.	51
Gráfica 9.	Comparación de los valores promedio de las tres condiciones de envasado en la pérdida fisiológica de peso del nopal.	53
Gráfica 10.	Comparación de los valores promedio del espinado en la pérdida fisiológica de peso del 10% en el nopal.	53
Gráfica 11.	Comparación de los valores promedio de la temperatura en la pérdida fisiológica de peso del 10 % en el nopal.	54
Gráfica 12.	Comparación de los valores promedio de la temperatura en la intensidad respiratoria del nopal.	58
Gráfica 13a.	Efecto del envase, espinado y tiempo en la intensidad respiratoria del nopal con espinas.	61
Gráfica 13b.	Efecto del envase, espinado y tiempo en la intensidad respiratoria del nopal sin espinas.	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Plantío del nopal en Milpalta México D.F.	11
Figura 2.	Nopal Opuntia "Ficus- Indica".	12
Figura 3.	Ciclo de Calvin.	18
Figura 4.	Etapas del metabolismo del ácido crasuláceo (CAM), PEP, fosfoenolpiruvato, OAA, oxalacetato.	20
Figura 5.	Esquema del proceso de la respiración celular.	22
Figura 6.	Representación esquemática de la estructura lineal y no lineal del polímero de baja densidad.	34
Figura 7.	Dispositivo de Pettenkoffer.	66

PAGINACIÓN DISCONTINUA

I. RESUMEN

El nopal representa a uno de los productos de mayor producción en México, por la importancia nutricional de los componentes que pueden aportar a la población mediante el consumo en sus múltiples modos de preparación y la utilización del producto como materia prima para la obtención de diferentes productos benéficos para el hombre (medicina naturista, forraje, cosméticos, etc.); así mismo las cuantiosas producciones obtenidas en los principales centros de producción del nopal que se pierden por la rápida acción biológica, fisicoquímica y fisiológica; es la razón principal para la conservación del nopal, manteniendo en lo mayor posible, las propiedades sensoriales del producto, buscando además una distribución nacional que nos permita difundir el consumo del nopal en la población, contribuyendo a la nutrición del país.

En la primera etapa del presente trabajo se evaluó el efecto que tiene el desespinado del nopal sobre su intensidad respiratoria (IR) a dos temperaturas (4°C y 25°C).

En la segunda etapa se utilizaron dos envases como modo de conservar el nopal, midiendo el efecto que tienen estos envases en la pérdida fisiológica de peso (PFP) y en la intensidad respiratoria. La conservación se realizó a dos diferentes temperaturas (4°C y 25°C) y con nopales desespinaados y no desespinaados.

Cabe mencionar que la única técnica que se encontró para desespinar el nopal fue de manera manual.

De los envases utilizados se encontró que el polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado, la PFP del nopal espinado y desespinaado se retarda en un promedio de 28 días y regula la intensidad respiratoria del mismo de manera favorable para la conservación de las propiedades de textura, color y firmeza del producto.

II. INTRODUCCIÓN

En la cultura mexicana el género *Opuntia* Ficus-Indica forma parte del sistema de producción de los habitantes de estas regiones, pues encontraron que el nopal no solo podía ser utilizado como producto alimenticio sino además que contenía propiedades curativas entre muchas otras.

El nopal, género *Opuntia*, está representado por 300 especies localizadas desde Canadá hasta la Patagonia (Chile y Argentina). En México se localizaron 104 especies y variedades. (Bravo 1978)

México representa el centro de la diversidad genética de *Opuntia* Ficus-indica más importante de Latinoamérica. La plantación de nopales para su comercialización ha adquirido una creciente consideración desde 1950 con los plantíos de Milpa Alta, Distrito Federal que es uno de los principales centros de producción del país. Los usos son diversos; como vegetal, fruto, forraje, materia prima para la industria de cosméticos, obtención de fructosa, pectina, productos dietéticos entre otros. (Nobel P.S. 1995)

Así mismo se tienen evidencias del consumo o utilización de la especie mencionada desde hace 25000 años cuando el hombre llegó a Nuevo México, siendo más específicos hace 13000 años en Tepexpan cuando se encontraron restos humanos de cazadores de mamuts. Más evidencias se encontraron en las excavaciones de Tamaulipas y Tehuacan, Puebla con fósiles de semillas, cáscaras de tunas y fibras de dicha especie que datan de hace 7000 años localizadas en las cuevas donde posiblemente habitaban los hombres de dicha época. (Valdes F.C.A. 1995)

En particular los países orientales han mantenido un contacto directo con el producto por lo que ha despertado un particular interés por mantener el producto en condiciones adecuadas de almacenamiento por periodos prolongados de vida útil.

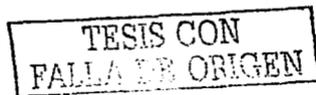
Las condiciones ambientales son determinantes para un adecuado control y manipulación de los productos vegetales. Los vegetales están constituidos por

células vivas que mantienen un ciclo de vida, el cual puede ser retrasado mediante la manipulación de las variables que influyen directamente de forma general o particular en dichos productos. Una de las variables que refleja directamente la conservación de las propiedades sensoriales de los productos vegetales como el "nopal" es la cantidad de agua.

De la misma manera otra variable de importancia para medir la conservación de vegetales y frutos está representada por la actividad respiratoria, que continua aún después de su cosecha, produciéndose intensos cambios durante el almacenamiento.

El nopal no muere al cosecharlo y por ende sus procesos biológicos, fisicoquímicos y fisiológicos continúan; la intensidad respiratoria es un factor determinante a controlar, dado que, en tanto la temperatura aumenta, la velocidad de las reacciones bioquímicas es mayor, es decir la velocidad de la transpiración es directamente proporcional al cambio de la temperatura. (Guevara A.J.C. 2000)

El almacenamiento en atmósferas controladas (AC) reduce la actividad respiratoria y la producción de etileno, lo que trae como consecuencia que se retrase la maduración y/o la senescencia. El envasado en atmósferas modificadas (AM) puede desencadenar respuestas similares. La diferencia más importante entre los dos procesos es que, en el envase en AM, la atmósfera se genera o al menos se mantiene a merced de la interacción entre la respiración del producto envasado y el grado de permeabilidad a los gases del material del envase. (Brody A.L., 1996 , Mathlouthi M. 1994)



III. OBJETIVOS

Objetivo General.

Determinar el efecto del desespinado, del envase y de la temperatura (4 y 25°C) sobre la intensidad respiratoria (CO₂) y Pérdida Fisiológica de Peso (PFP) del nopal *Opuntia ficus indica* para estimar la vida útil.

Objetivos Particulares.

Objetivo particular 1.

Obtener las curvas de la intensidad respiratoria de los nopales a diferentes horas del día (11:30, 13:00, 14:30, 16:00) en dos condiciones de temperatura (4 y 25°C) y con nopales espinados y desespinado, para determinar las condiciones en la que la intensidad respiratoria es mayor.

Objetivo particular 2.

Estimar el efecto de dos envases (charola de unigel con protección de PVC y polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado), de la temperatura (4 y 25°C) y del desespinado en la vida útil del nopal verdura medida en términos de la pérdida fisiológica de peso para proponer condiciones de almacenamiento que prolonguen la vida útil del nopal.

Objetivo Particular 3.

Estimar el efecto de dos envases (charola de unigel con protección de PVC y polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado), de la temperatura (4 y 25°C) y del desespinado en la vida útil del nopal verdura medida en términos de la intensidad respiratoria (CO₂) para proponer condiciones de almacenamiento que prolonguen la vida útil del nopal.

CAPITULO 1 ANTECEDENTES

1.1 Producción de Opuntias en México

El genero Opuntia está distribuido desde los niveles bajos del desierto de California hasta las elevadas montañas del Perú donde la altura es de 4700m sobre el nivel del mar, encontrando 170 especies del genero Opuntia en dicha extensión.

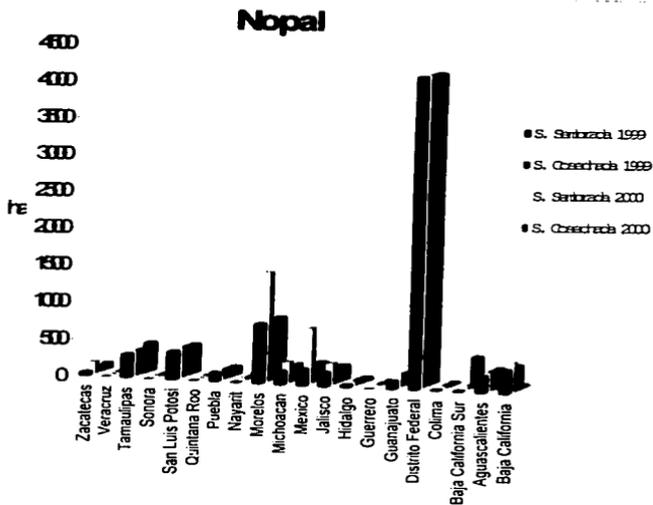
Se calcula que en nuestro país existen alrededor de 2500 productores del nopal con unas 10000 ha, abarcando el DF y Morelos un 55% de la producción y un 82% de la superficie que se destina al cultivo del nopal. El nopal verdura no ocupa los primeros lugares por superficie al ser superado por muchos cultivos. En cambio, por producción total el cultivo del nopal verdura se encuentra en el séptimo lugar con 267,385 toneladas por año, solo superado por cultivos como melón, sandía, cebolla, chile verde, papa y tomate rojo, tomando en cuenta que la mayoría de estos productos no son originarios de México. SARH 1987

De acuerdo con datos de producción de nopal en el D.F., en una extensión sembrada de 7000 ha con un estimado anual de 90000 toneladas producidas, el 50% de la producción es consumido en la Ciudad de México, el resto es distribuido en los diferentes estados y una pequeña cantidad es exportado a USA y Japón. El D.F. es el principal productor del nopal Opuntia "Ficus-Indica" con una extensión sembrada de 4159 ha de \$537 millones de pesos para el año de 1999 y en el año del 2000 el valor de la producción de \$469 millones de pesos. En el estado de Morelos la producción del nopal se incrementó considerablemente del año 1999 al 2000. En 1999 la superficie sembrada fue de 796 ha incrementando para el 2000 aproximadamente el 50% de la superficie sembrada con 1459 ha. El valor de la producción para cada año respectivamente fue de \$51 y \$148 millones de pesos. En la tabla 1 y gráfica 1 y 2 se representan la producción del nopal Opuntia Ficus-Indica en el territorio Mexicano. SIAP, 2001

Tabla 1. Producción del Nopal en México.

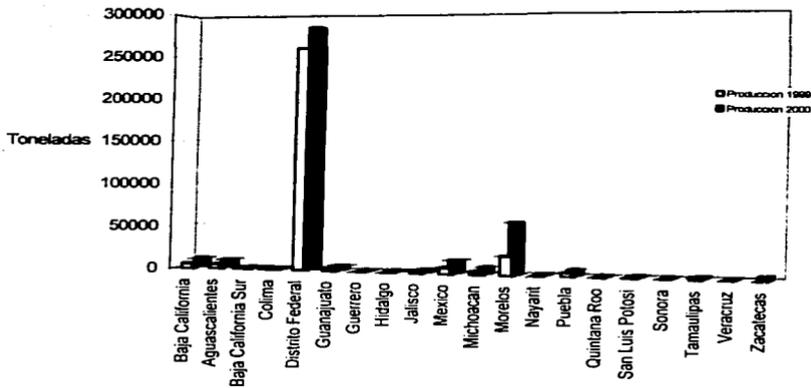
Nopal	Año agrícola 1999			Año agrícola 2000		
	Superficie sembrada ha	Superficie cosechada ha	Producción Obtenida Toneladas	superficie sembrada ha	Superficie cosechada ha	Producción Obtenida Toneladas
Baja California	27	312	5782,75	385,5	385,5	9475,2
Aguascalientes	223	223	4723	232	232	8391,5
Baja California Sur	371	22	148	42	42	306
Colima	20	20	251	21	21	537,3
Distrito Federal	4159	4159	258985	4159	4159	284961,5
Guanajuato	125	110	2367	182,4	182,4	4498,24
Guerrero	0	0	0	13	10	235
Hidalgo	40	40	235	36	32	445
Jalisco	190	188	2586	281	187	2331
México	218	218	7494,5	736	607	14144
Michoacán	180	180	3883	278	278	6821
Morelos	796	795	21832,5	1459	1459	59510
Nayarit	26	13	30	33,75	33,75	374,25
Puebla	108	108	4325	79	79	5928
Quintana Roo	6	6	276	6	6	266
San Luis Potosí	380	380	771,6	380	380	770,8
Sonora	0	0	0	13	13	113
Tamaulipas	378	317	2664	316,5	316,5	1589
Veracruz	5	5	140	5	5	160
Zacatecas	74	56	34,607	159	159	3603

SIAP, 2002



Gráfica 1. Superficies sembradas y cosechadas del Nopal *Opuntia ficus-Indica* (Nopalitos) en México en el año de 1999 y 2000. SIAP, 2002

Producción del Nopal



Gráfica 2. Producción del Nopal *Opuntia ficus-Indica* (Nopalitos) en México en el año de 1999 y 2000. SIAP, 2002.

1.2 Taxonomía

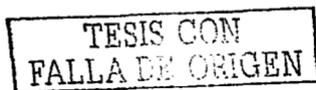
Por genero Opuntia se conoce a las plantas cuyos tallos son carnosos, arbustivas o arbóreas, la hojas son en forma cilíndrica (espinas) que crecen en toda la superficie con separaciones dependiendo de la especie o género, sus flores son pequeñas de color rojo, púrpúreas, amarillas etc., los frutos son bayas ovoides. Son plantas perennes que crecen principalmente de diciembre a junio y se dividen en 11 subgéneros: *Opuntia*, *Consolea*, *Austrocylindropuntia*, *Brasiliopuntia*, *Corynopuntia*, *Cylindropuntia*, *Grusonia*, *Marenopuntia*, *Nopalea*, *Stenopuntia* y *Tephrocactus*. La taxonomía de las Opuntias es demasiado complicada por diferentes razones: el fenotipo de acuerdo a las diferentes condiciones ecológicas que afectan la reproducción vegetal y sexual de la planta. La existencias de diferentes híbridos y las diferentes especies que crecen en los diferentes periodos del año. (Scheinvar L 1995)

Las variedades que normalmente se usan para la producción del nopal verdura son *Opuntia Ficus-Indica* y *Opuntia undulara*. En la tabla 2 se representa la taxonomía en forma general del nopal. Es importante señalar que en los estados de San Luis Potosí, Hidalgo y México las variedades que más se explotan son: *Opuntia streptocantha* (nopal cardón) y *Opuntia robusta* (nopal tapon). (Guevara A.J.C. 2000.)

Tabla 2. Taxonomía del Nopal

REINO	Vegetal
SUBREINO	Embryophita
DIVISIÓN O TIPO	Angiosperma
CLASE	Dicoteledonia
FAMILIA	Cactáceas
GÉNERO	Opuntia
SUBGÉNERO	Cilindropontees Playtypontees
ESPECIE	Vulgaris
ORDEN	Cactales
TRIBU	Opunteoideas

Guevara A.J.C 2000.



1.3 Plantación del nopal

Para la plantación del nopal se forman surcos con espacios de aproximadamente 1.5 m con el fin que las raíces del nopal tengan un espacio suficiente para la absorción del agua y los nutrientes del suelo. Una planta de nopal dura de 3-15 años dependiendo de las condiciones en que ésta se encuentre. La planta debe alcanzar una altura máxima de 1.5 m, manteniendo las pencas principales de 30 cm de largo y 25 cm en la parte más ancha, permitiendo en éstas el crecimiento de los nopales de tamaño de preferencia al consumidor encontrando gran variedad de tamaños destinados a la venta como se puede apreciar en la figura 1. Los nopales de menor tamaño son de mayor costo por la dificultad de la recolección, disminuyendo su precio conforme el tamaño va aumentando. Otra variable que influye en el costo de los nopales es la época del año debido a que en la época de mucha lluvia, el metabolismo de la planta es retrasado de alguna manera y las pencas tardan más tiempo en alcanzar su maduración. En época de sequía el crecimiento es más acelerado, pero las pencas crecen alargadas y delgadas. Los fertilizantes utilizados son; necros al 3%, folidol al 3% y estiércol de vaca ;de los cuales cada productor usa el de su preferencia. Los nopales cacarizos son eliminados de la planta para reducirlos de tamaño de tal manera que se pueda utilizar también como fertilizante. Debe eliminarse la hierba que crece alrededor de las plantas para que éstas no ocupen espacio de tierra que pueda influir en el crecimiento de la misma creando una competencia entre ambas. La tarea o corte de la penca de los nopales que serán distribuidos a diferentes puntos de la Ciudad de México (Merced, Jamaica, Central de Abastos y Querétaro) se lleva a cabo de las 6-12 hrs am, distribuyéndose así al día siguiente. La distribución la realiza en ocasiones por los mismos productores o gente que compra directamente a los productores y realizan la distribución. (experiencia laboral, Milpalta México D.F.)

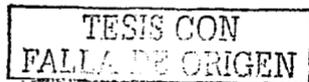




Figura 1. Plantio de Nopal en Milpalta México D.F.

1.4 Estructura del Nopal

Los nopales son plantas carnosas, arbustivas o arbóreas, de 1 a 5 metros de altura, con tallos o ramas (pencas) oblongas o de otra forma, aplanadas y de color verde que cuando son jóvenes, se conocen comúnmente como nopalitos. En estructuras llamadas areolas se presentan hojitas así como espinas grandes y pequeñas que son evidentes y características en las plantas adultas (figura 2). En la parte superior de las pencas se forman las flores rojas, púrpúreas, amarillas, etc; los frutos (tunas) son bayas ovoides carnosas de 3 a 12 cm, amarillas, rojas, anaranjadas o púrpúreas y con numerosas semillas. Estas plantas son perenes y florecen principalmente de diciembre a junio. (Villegas G.M. 1995)



Figura 2. Nopal Opuntia "Ficus-Indica".

El nopal se ha adaptado a los diferentes ambientes debido a la evolución de las Opuntias en zonas áridas, semi- áridas, donde las limitaciones para la supervivencia y la producción de las plantas del desierto modificaron su estructura o morfología, anatomía y fisiología adaptándose al ambiente. (Sudzuki H.F. 1995)

1.4.1 La Raíz.

La raíz de las Opuntias Ficus-Indica es carnosa, de poca profundidad y se expanden de manera horizontal en el suelo.

El sistema de distribución de la raíz depende del tipo de suelo. El desarrollo de la raíz en condiciones favorable de suelo alcanza una penetración máxima de 30 cm dentro del suelo. En condiciones secas, en zonas áridas y semi- áridas, donde la humedad que absorbe el suelo alcanza poca profundidad las raíces se expanden de 4 a 8 metros. (Sudzuki H.F 1995)

1.4.2 Tallo.

Las cactáceas se caracterizan por ser de tallo expandido, presencia de areolas y espinas, de tronco carnoso, corteza verde y ausencia de follaje.

La parte carnosa del tronco es expandida de forma oblonga de 30- 40 cm de largo, y de 18 a 25 cm de ancho. Anatómicamente el tallo está formado por una mezcla de secciones, conformado por: piel, corteza, tejido vascular que está formado por bultos colaterales separados por tejidos conectores y médula, la cual es un tejido carnoso. La piel está conformada por capas de células de epidermis de 6 a 7 capas de células especializadas para acumular agua con paredes primaria gruesas, ensambladas por células de forma laminar. La células de las epidermis son planas, delgadas y de resistencia similar al pavimento. La epidermis tiene paredes gruesas y fuertes con mecanismos de defensa contra hongos y bacterias. (Sudzuki H.F. 1995)

1.4.3 Epidermis.

La epidermis está constituida por la parte más alejada al cuerpo del cactus, con capas continuas de células protectoras que contienen pequeños huecos llamados estomas. La epidermis tiene tres funciones principales: 1) Regular el movimiento interno del CO₂ y el oxígeno externo de la planta; 2) Retener el agua dentro de la planta; 3) Proteger a la planta de hongos, esporas, insectos y de los rayos solares intensos.

La epidermis del tallo en *O. Ficus-Indica* es una capa gruesa de células con una pared más alejada impregnada y cubierta con cera de sustancias grasas llamada cutis.

Químicamente el cutis de las *O. Ficus-Indica* no es solo celulosa si no además contiene cera de ácidos grasos y polímeros en presencia de oxígeno.

La parte cerosa en la superficie de las células de la epidermis tiene diferentes funciones: equilibrar el contenido de agua, prevenir la pérdida de vapor de agua de la planta y repeler el agua de la superficie. (Sudzuki H.F. 1995)

1.4.4 Areolas.

Las areolas se distribuyen en la superficie de la piel y miden 2 mm aproximadamente. La principal característica de las areolas son la presencia de espinas. Se creó que las espinas tiene diferentes funciones. La idea más popular de las espinas es la protección de ser alimento de animales, ayudan a evitar la pérdida de agua, ayudan a condensar el agua del aire, reducen la temperatura del ambiente en la planta. (Sudzuki H.F. 1995)

1.5 Composición Química.

La composición química de las pencas se muestran en la tabla 3. Los nopales son ricos en agua, mucilagos celulosa, pectina, vitamina C, calcio y potasio.

Tabla 3. Composición química de pencas de nopal (Opuntia spp)

<i>Componentes</i>	<i>Por 100 g en base húmeda</i>
Energía (kcal)	27 a 37
Proteína (g)	1.1 a 1.7
Ext. Etéreo (g)	0.4
Hidrato de carbono (g)	5.6 a 8.8
Ceniza (g)	0.9
Calcio (mg)	93 a 110
Fósforo (mg)	20
Hierro (mg)	0.5
Vitamina A (µg eq)	41 a 50
Tiamina (mg)	0.04
Rivoflavina (mg)	0.04
Niacina (mg)	0.2
Ácido ascórbico (mg)	19

Villegas G.M., 1995.

1.6 Fisiología del Nopal.

El proceso primario de la respiración es la movilización de compuestos orgánicos y su oxidación controlada para liberar energía para el mantenimiento y desarrollo de la planta. Bidwell, 1979

Todos los procesos de crecimiento requieren de energía; el ATP es la fuente de energía química universal en los diferentes organismos. En la fotosíntesis, la energía luminica que proveniente del sol se convierte en energía química y se almacena en enlaces fosfoanhidrido y el CO₂ y el H₂O se transforman en azúcares de 6 carbonos (glucosa). La respiración celular revierte el proceso y la completa degradación aeróbica de la glucosa a CO₂ y H₂O permiten sintetizar 32 moléculas de ATP cuya energía es utilizada en otras reacciones del metabolismo celular. (Flores V.E. 1999)

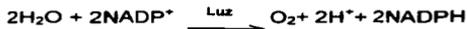
1.6.1 Fotosíntesis.

Las plantas capturan la luz del sol y utilizan esta energía para sintetizar compuestos orgánicos, a partir de sustancias inorgánicas. En el proceso de fotosíntesis hay varias reacciones:

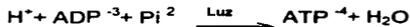
1. Absorción de luz.



2. Transporte de electrones.



3. Generación de ATP.



4. Fijación de CO₂ y conversión de CO₂ en carbohidratos.



Las reacciones que involucran la absorción de luz y la formación de NADPH son catalizadas por proteínas en la membrana del tilacoide. Las reacciones enzimáticas que incorporan CO₂ (fijación de CO₂) y lo convierten en almidón, se efectúan en el estroma. Las enzimas que forman sacarosa a partir de compuestos de tres carbonos se encuentran en el citosol. Las reacciones que generan ATP y

NADPH dependen de la luz en forma directa (1-3) y reciben el nombre de reacciones de luz; las reacciones de 4 dependen de la luz en forma indirecta y reciben el nombre de reacciones oscuras. La sacarosa se puede formar en oscuridad, utilizando el ATP y NADPH generados en la fase luminosa. La fase 4 no esta confinada a la oscuridad y puede ocurrir a la luz.

El pigmento más importante es la clorofila, que absorbe luz a un longitud de onda de 480 nm y entre 550 y 700 nm. Cuando la luz blanca del sol cae sobre una capa de clorofila, la luz verde con una longitud de onda entre 480 y 550 nm no es absorbida pero si reflejada. Esta es la razón por la cual la clorofila y las hojas son verdes. (Flores V.E. 1999)

1.6.2 Fijación del CO₂ y producción de carbohidratos.

El ciclo de Calvin delinea la serie de reacciones que permiten la utilización del ATP y NADPH generados en las reacciones luminicas para fijar el CO₂ e incorporarlo en carbohidratos.

La figura 3 representa el ciclo de Calvin. La ribosa-5,6-bifosfato es fosforilada a ribulosa-1,5-bifosfato por el ATP; luego, la ribulosa-1,5-bifosfato es carboxilada bajo la acción de la enzima ribulosa-bifosfato-carboxilasa, la cual es activada por Mg⁺². El compuesto que se forma es inestable, se divide y se forman dos moléculas de fosfoglicerato. La segunda fosforilación convierte el 3-fosfoglicerato en fosforil-2-fosfoglicerato y entonces, por reducción, éste se convierte en gliceraldehido-3-fosfato y produce fructosa-1,6-bifosfato que se hidroliza a fructosa-6-fosfato; ésta es involucrada en una reacción con gliceraldehido-3-fosfato por una transcetolasa y forma eritrosa-4-fosfato y xilulosa-5-fosfato.

La concentración de la eritrosa-4-fosfato con dihidroxiacetona-fosfato produce sedoheptulosa-1,7-bitofosfato que se hidroliza y forma sedoheptulosa-7-fosfato.

Las dos fosfatasas, que hidrolizan la fructosa-1,6-bifosfato y la sedoheptulosa-1,7-bifosfato, no son componentes del ciclo de las pentosas fosfato; tampoco la aldosa que produce sedoheptulosa-1,7-bifosfato. Una molécula

de pentosa se regenera por reacción con la fructosa-6-fosfato transcetolasa y dos moléculas por la sedoheptulosa-7-fosfato transcetolasa. La ribosa-5-fosfato se isomeriza y las dos moléculas de xilulosa-5-fosfato epimerizan a ribulosa-5-fosfato.

Las dos reacciones más importantes del proceso son las carboxilación de ribulosa-1-5-bifosfato y la única reacción reductora del ciclo es la que convierte el 3-fosfoglicerato en gliceraldehído-3-fosfato.

El resto del ciclo concierne a la regeneración de la pentosa. En cada etapa del ciclo deben ocurrir 3 carboxilaciones y producirse 6 moles de fosfoglicerato (18 átomos de C). La modificación de 3 moles de ribulosa-1,5-difosfato (15 átomos de C) requiere el carbono de 5 moles de triosa (15 C); entonces en un ciclo completo, 3 átomos de carbono se incorporan y utilizan en la síntesis de productos de la fotosíntesis. La fijación de esos 3 átomos de carbono involucra 9 moles de ATP y 6 moles de NADPH; para la fijación de una mol de CO_2 , las reacciones de la luz deben producir 2 moles de NADPH y 3 moles de ATP. (Flores V.E. 1999)

La familia de las cactáceas son un grupo de plantas angiospermas que se caracterizan por que presentan metabolismo ácido crasuláceo (CAM o MAC) por la presencia de la proteína P3 en los vasos cribados y de pigmentos del tipo betalainas y por ser las únicas plantas que presentan areolas con células meristemáticas. Las areolas son espinas. Las espinas tienen conexión con el sistema vascular y las areolas son una prolongación del sistema vascular. (Schieninvar L. 1995)

La familia de la Opuntias y otras cactáceas siguen el modelo de fijación de CO_2 y pérdida de agua durante la noche a diferencia de las plantas que abren sus estomas y realizan el intercambio de CO_2 con la atmósfera durante el amanecer. (Novel P.S. 1995)

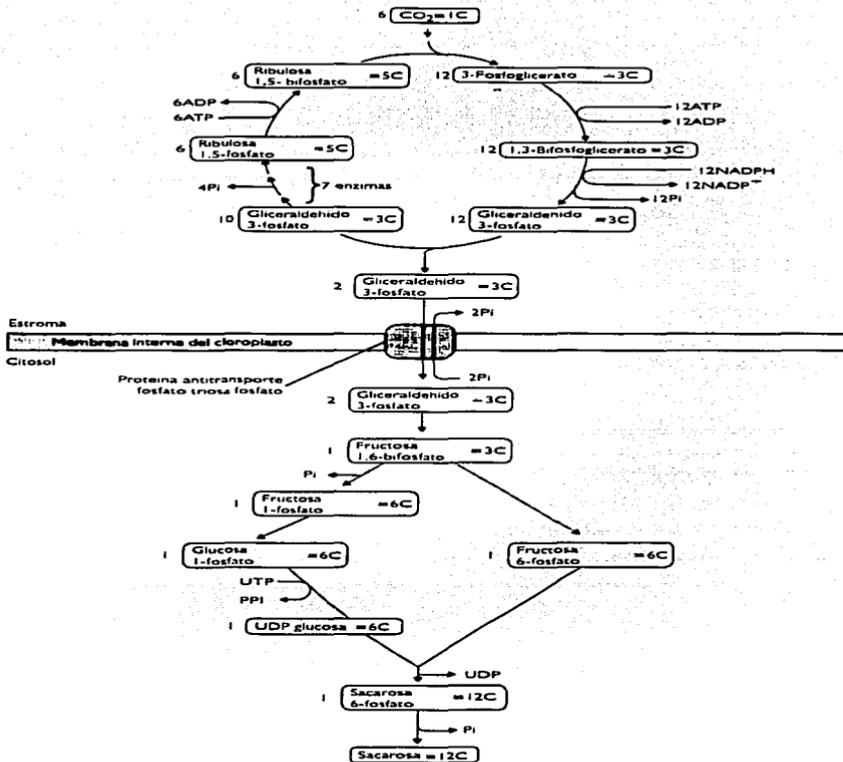


Figura 3. Ciclo de Calvin (C-3) para la fijación del bióxido de carbon. Ru-5P, ribulosa-5-fosfato; RuBisCo, ribulosa-1,5-bifosfato; PGA, ácido 3-fosfoglicérico; G3P, gliceraldehido-3-fosfato, F6P, fructosa-6-fosfato. (Flores V.E. 1999)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En aquellos ambientes con restricción hídrica constante, estacionales o diarias como son las zonas áridas, semiáridas y ambientes epifíticos las plantas C4 y CAM funcionan como especialistas de gran éxito con mayor eficiencia en el uso del agua en comparación con las plantas de C3. Las modificaciones bioquímicas con lo cual se consigue ésto se relacionan con el aumento en la cantidad y eficiencia de la acción de la anhidrasa carbónica, la cual es limitada en las plantas de C3, y con la acción de un sistema de bombeo del CO₂ conseguido a través de la acción de la fosfoenolpiruvatocarboxilasa (PEPC) y ATPasas de membrana.

En las plantas CAM el resultado de las modificaciones evolutivas es que el CO₂ es fijado en dos etapas separadas temporalmente, más que físicamente como ocurre en la C4; durante la noche la apertura de los estomas permite la difusión del CO₂ que es fijado como HCO₃⁻ por la anhidrasa carbónica (AC) y es tomado por la PEPC que lo incorpora en ácidos C4 que se acumulan en las vacuolas vía una bomba de membrana ATP dependiente. Durante el día los estomas se cierran y los ácidos de C4 son llevados al citoplasma, a través de un mecanismo aparentemente pasivo, en donde son descarboxilados. El CO₂ liberado, que alcanza concentraciones internas muy altas, es fijado en los cloroplastos por RuBisCo (ribulosa 1,5-bisfato carboxilasa) para incorporarlos al ciclo de Calvin. Ver figura 4. (Schieninvar L. 1995, Flores V.E. 1999)

En las diferentes plantas CAM existen variaciones bioquímicas sobre la identidad del carbohidrato de almacenamiento del cual el fosfoenolpiruvato es derivado y hay tres sistemas de decarboxilasas identificados. También hay variantes cuantitativas: CAM obligado en que todo el CO₂ se adquiere vía fosfoenolpiruvato carboxilasa, CAM es variable y dependiente del ambiente o estado de desarrollo y CAM cíclico en que sólo el CO₂ respiratorio nocturno se fija vía fosfoenolpiruvato carboxilasa. Esas formas no representan todas las variantes que parecen existir en la naturaleza. (Flores V.E. 1999)

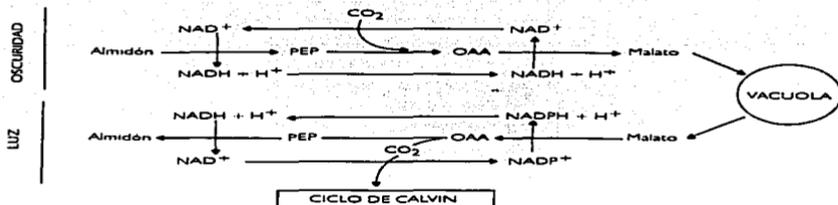


Figura 4. Etapas del metabolismo ácido crasuláceo (CAM), PEP, fosfoenolpiruvato; OAA, oxalacetato. (Flores V.E. 1999)

1.6.3 Respiración.

La respiración celular es, entonces, el mecanismo mediante el cual la energía de los carbohidratos se transfiere al ATP, para satisfacer las necesidades energéticas de la célula. (Flores V.E. 1999)

El proceso primario de la respiración es la movilización de compuestos orgánicos y su oxidación controlada para liberar energía para el mantenimiento y desarrollo de la planta.



Para la mayoría de los autores la respiración aeróbica típica conocida también como vía de Embden – Meyerhoff Parnas está formada por tres secuencias de reacciones bien definidas.

1. Glicólisis.- ocurre en el citoplasma y se inicia con una fosforilación que da por resultado final la conversión en dos moléculas de ácido pirúvico a partir de una glucosa más hidrógeno que se une a un NAD^+ esta etapa es común a los procesos de respiración aeróbica y fermentación.

2. Oxidación.- se realiza a través del ciclo de Krebs o del ácido cítrico. El ácido pirúvico entra transformado en acetil - C_oA, descomponiéndose en CO₂ e H⁺ . Este último se transfiere a aceptores de hidrógeno como NAD⁺ (nicotinamin – adenina dinucleotido oxidasa.), NAP⁺ (nicotinamin – adenina dinucleotido fosfato oxidasa), FAD (flavinadenina dinucleotido).
3. Fosforilación oxidativa final.- a través de un sistema de transporte de electrones constituidos por los citocromos y ocasionalmente por otras oxidasas. Aquí los electrones de los aceptores de hidrógeno reducidos (o protones) son transferidos a otro, de nivel energético cada vez más bajo. La energía que por ésto queda libre, permite sintetizar ATP; ésta es una forma de energía rápidamente disponible que es utilizada y convertida en ADP.

La figura 4 representa, en forma esquemática, el proceso de glicólisis y las enzimas que catalizan las diferentes reacciones.

Esta conversión de energía dista de ser 100% eficiente; considerando que una molécula de glucosa contiene 688 kcal de energía libre y que se forma al final un total de 38 ATP, se produce un total de 266 kcal al ser todas hidrolizadas. Se ha visto que en condiciones estándar por cada ATP hidrolizado se obtienen 7 kcal que pueden subir a 12 kcal en células intactas. Por lo tanto la respiración de los hidratos de carbono tiene una eficiencia de aproximadamente 45% en la conversión de energía; el resto de ella se trasforma en calor en varios puntos de la vía metabólica, perdiéndose. (Fernández G, Jhonston M. 1986)

Las plantas realizan fotosíntesis cuando hay suficiente luz, de lo contrario consumen oxígeno llevando a cabo respiración celular. La fotosíntesis ocurre en los cloroplastos, mientras la respiración celular ocurre en la mitocondria.

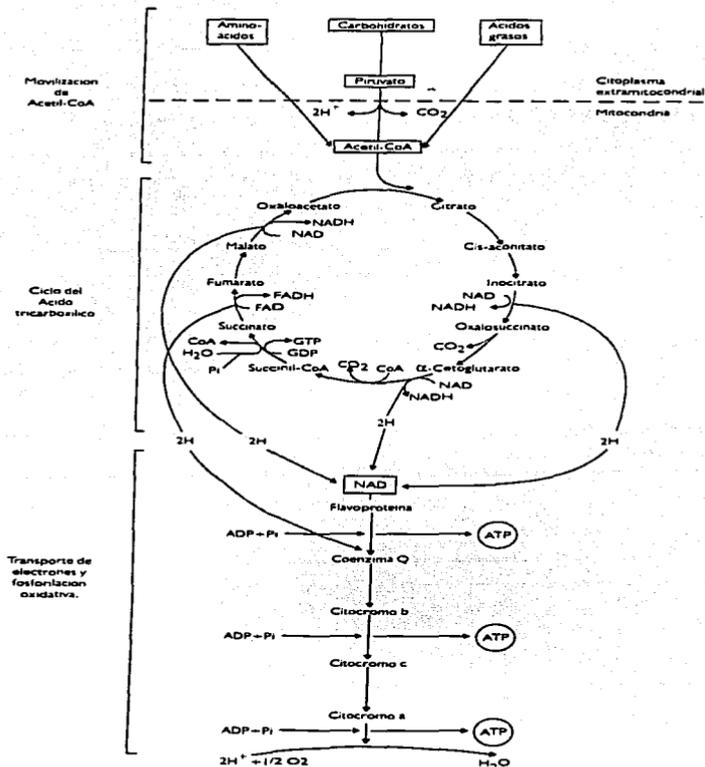


Figura 5. Esquema del proceso de la respiración celular. (Flores V.E. 1999)

1.6.4 Factores que influyen en la Respiración.

La intensidad respiratoria de frutos y hortalizas, presenta comportamientos diferentes relacionados directamente con la conservación de las propiedades sensoriales del producto.

La intensidad respiratoria del nopal depende directamente del contenido de humedad del suelo, la intensidad de la luz solar, temperatura del aire y diferentes elementos del suelo. Para el género *Opuntia* la producción de CO_2 o intercambio gaseoso, resultado de la respiración ocurre principalmente durante la noche con respecto a otras cactáceas. (Nobel P.S. 1995)

El contenido de agua es importante en el ciclo de vida del género. El contenido de agua es un medio de conservación. Los estomas abren durante la noche, obteniendo mayor pérdida de humedad y desprendimiento de CO_2 que es eventualmente incorporado dentro del producto de la fotosíntesis. En la transpiración, el vapor de agua es introducido a los órganos de la fotosíntesis, donde los espacios internos de aire son saturados con vapor de agua. El contenido de vapor en el aire saturado aumenta exponencialmente con la temperatura, a $5\text{ }^\circ\text{C}$ se tiene 6.8 g / m^3 , a $20\text{ }^\circ\text{C}$ se tiene 17.3 g / m^3 y a $35\text{ }^\circ\text{C}$ se tiene 39.7 g / m^3 . El contenido de vapor de agua en el aire rodea a la planta, cuando no está saturado, reduciendo el intercambio gaseoso, generalmente durante el día. El intercambio gaseoso ocurre principalmente con el transcurso del tiempo. El nivel de transpiración es proporcional a la diferencia en el contenido de vapor de agua entre los órganos interiores de la fotosíntesis y el aire que lo rodea y además depende también del grado de apertura de los estomas. Cuando los poros de los estomas de ficus indica se encuentran abiertos representan el 0.5% del área superficial de la planta mientras que en las plantas de alta productividad de C_3 y C_4 ocupan de 2 a 3 veces el área superficial. La acumulación de biomasa y del contenido neto de CO_2 depende de las condiciones ambientales. Los cuatro principales factores que afectan son: el contenido de agua en el suelo, la temperatura del aire, la humedad y los diferentes nutrientes del suelo. (Nobel P.S. 1995)

a) Contenido de agua en el suelo.

La planta absorbe el agua de la tierra cuando el contenido de agua es elevado. Las raíces de las Opuntias son poco profundas alcanzando tan solo de 10-15 cm. Las raíces de las Opuntias representan del 7-8% del peso seco de la planta madura. El potencial de agua introducido por las raíces es generalmente determinado por la absorción de agua. Las condiciones de hidratación de las Opuntias es relativamente alto, por cada absorción el potencial de agua es de -0.3 a -0.6 MPa(megapascal). Durante la sequía la pérdida de agua se presenta normalmente en las pencas, pero el potencial de agua que es absorbida por las raíces es relativamente alto comparado con las plantas de C_3 o C_4 .

Se ha reportado que a 10-mm de aguacero es suficiente para que las raíces de las Opuntias absorban la humedad de la tierra. (Nobel P.S. 1995)

La sequía esta definida cuando las raíces empiezan a disminuir el potencial de agua que es absorbido y disminuye el contenido de agua en la tierra. Las plantas empiezan a almacenar el agua en sus tejidos y existe una disminución gradual en la apertura de los estomas y una disminución en la producción diaria de CO_2 . (Nobel P.S. 1995)

b) Temperatura.

La temperatura influye directamente en las reacciones bioquímicas y por lo tanto en el contenido neto de CO_2 . La temperatura de las células de las opuntias, donde inicia la fijación de CO_2 y la síntesis gradual del proceso de la fotosíntesis ocurre generalmente dentro de 1 °C en la temperatura superficial. La temperatura superficial es influenciada de una manera complicada por diferentes factores; la temperatura local del aire, la velocidad del viento el cual puede deteriorar las espinas, la vegetación de los alrededores y la topografía de la zona. (Nobel P.S. 1995)

La exposición a la tierra, rocas, cielo y otras vegetaciones son determinantes en la incidencia de la radiación solar en la epidermis de la planta; el espesor de la epidermis afecta el calor almacenado y el contacto de la epidermis de otras plantas en el nopal o la tierra afectan la conducción de calor. El factor

más importante que afecta la temperatura en la superficie de la epidermis, es la temperatura del aire, haciendo fácil la medición en el campo y el laboratorio por que la producción de CO₂ de las Opuntias Ficus-Indica ocurre principalmente en la noche, una temperatura relevante es el promedio de la temperatura nocturna. (Nobel P.S. 1995)

c) Luz.

La luz es determinante para llevarse a cabo el mecanismo de la fotosíntesis y por consecuencia el intercambio gaseoso (respiración) del genero Ficus-Indica. El flujo de fotones que son irradiados por la energía solar dependen directamente de la posición solar que determinan el contenido neto de CO₂.

La mayor producción de CO₂ de las Opuntias Ficus-Indica ocurren en la noche cuando la intensidad de flux en la fotosíntesis es cero y el proceso de la fotosíntesis no puede realizarse. En contraste con el proceso de fotosíntesis de las plantas de C₂ y C₃ (Nobel P.S. 1995)

d) Nutrientes y salinidad en la tierra.

La producción de CO₂ y el crecimiento de las Opuntias está influenciada por el contenido de macro nutrientes en la tierra (N, P, K, Ca, Mg, S) y micro nutrientes (doce elementos requerido en baja proporción por las plantas). El aumento de sodio (Na) en la tierra inhibe la producción de CO₂ y el crecimiento de cactáceas, incluyendo a las Opuntias. Aunque la respuesta de las plantas de metabolismo CAM a los elementos de la tierra, dependen de la textura y el pH. Más sin embargo son cinco los elementos que afectan directamente: i) los tres ingredientes que se ocupan en la fertilización, nitrógeno (N), fósforo (P) y el potasio (K); ii) el micro nutriente boro (B); y iii) el sodio (Na). (Nobel P.S. 1995)

En las regiones áridas y semiáridas, no obstante, el Na es más abundante que el K y las plantas deben, selectivamente, concentrar potasio sin tomar grandes cantidades de Na. Como las sustancias no difunden contra gradiente de concentración, es claro que las células deben emplear energía para acumular moléculas y iones seleccionados. (Flores V.E.)

1.6.5 Factores que modifican el ritmo de la respiración.

a) Variedad.

Generalmente, las variedades de maduración precoz sufren la crisis climáticas más pronto y más acentuadas que las variedades tardías; el periodo posclimáticos es, así mismo, más escalonado en las variedades que tienen más larga conservación. Por otra parte aquellas variedades con capacidad para una larga conservación tiene un máximo respiratorio inferior y mas atenuado que el que presenta las variedades de corta conservación; dicho de otra manera, cuanto más alta es la I.R. en la recolección, peor resulta la conservación.

b) Calibre del fruto.

Aunque la influencia del calibre sobre la respiración sea poco sensible, parece que la I.R. es tanto más alta cuanto mayor es el número de células que el fruto contenga, y a mayor número de células le corresponde un mayor tamaño, variedad por variedad.

c) El manejo.

Se ha podido demostrar que las magulladuras y golpes sobre los vegetales provocan, en general, la aparición de la crisis climática y una intensificación del máximo respiratorio; igual ocurre con las picaduras sobre la piel. Este fenómeno se acentúa proporcionalmente con el número de golpes o picaduras por fruto. (Duran T.S. 1983)

1.7 El Estudio y Medición de la Respiración.

La respiración se ha estudiado de muchas maneras, usando diversas técnicas. El estudio de la respiración es básico para el conocimiento de la bioquímica y metabolismo de tejidos. Si bien se ha dicho para el estudio de la fotosíntesis, que la observación de los intercambios gaseosos que acompañan a un fenómeno fisiológico no nos permite observar de manera clara los mecanismos celulares, no es menos cierto que la absorción de oxígeno y el desprendimiento de anhídrido carbónico son los fenómenos globales más accesibles a la observación cuando un vegetal respira. Los valores fisiológico que caracterizan la respiración se basan en la medida de estos intercambios gaseosos.

El método más fácil y efectivo de medir la respiración es medir el producto gaseoso o el sustrato, dióxido de carbono u oxígeno. Para medir la respiración de una planta entera o de un órgano entero (hoja, tubérculo...), se utiliza la medición cuantitativa de los volúmenes gaseosos por el método de atmósfera renovada. El material biológico que respira, se encierra en una cámara de respiración, recorrida (con flujo muy débil) por una corriente de aire. Los contenidos de CO_2 y O_2 del aire que entra en la cámara son conocidos, los contenidos de ambos gases se miden a la salida de la cámara de respiración. Por diferencia entre los contenido a la entrada y a la salida, se miden las cantidades de gases intercambiados entre la planta y la atmósfera.

La medición de los volúmenes gaseosos por manometría ha sido una técnica estándar desde el desarrollo del aparato de Warburg de Otto Warburg. Este aparato consiste en un conjunto de cámaras termo estabilizadas en las cuales se colocan muestras del material vegetal. Estas cámaras están provistas de manómetros sensibles y todo el aparato se agita constantemente. El cambio de presión que resulta del intercambio neto de gases puede medirse durante un periodo de tiempo en cada manómetro, y luego se pone un álcali en el brazo lateral, para que el dióxido de carbono producido y la diferencia entre el cambio de presión debido al intercambio neto de gases y el que se debe a la absorción de dióxido de carbono, es el resultado de la toma de oxígeno del aire.

Este sensible aparato y el desarrollado más recientemente, que trabaja bajo el mismo principio, pero tiene una presión constante ajustada por un instrumento cambiador de volúmenes operando micrométricamente en lugar de un manómetro, ha producido muchos datos cuantitativos sobre la respiración tisular.

Algunos instrumentos desarrollados más recientemente permite una medición continua y sensible de las tasas de toma del oxígeno o producción del dióxido de carbono. El dióxido de carbono puede medirse con gran sensibilidad en una corriente gaseosa por medio del analizador de gases infrarrojos, que detecta el dióxido de carbono por su capacidad de absorber dichos rayos. (Maziak P. 1976, Bidwell)

1.7.1 Coeficiente respiratorio e Intensidad Respiratoria.

Dos datos principales son utilizados por los fisiólogos: la intensidad respiratoria y el coeficiente respiratorio.

La intensidad respiratoria (I.R.) se define como: la cantidad de gas intercambiado (CO_2 desprendido u O_2 absorbido) por unidad de tiempo y por unidad de materia que respira. La intensidad respiratoria es una medida cuantitativa de la magnitud de este fenómeno fisiológico en un tejido dado; aunque generalmente, la I.R. puede ser considerada como indicador de la actividad metabólica general.

El coeficiente respiratorio es un valor fisiológico, que da un primer índice cualitativo sobre la naturaleza de las "combustiones respiratorias". El coeficiente respiratorio (C.R.) se define por la relación de la cantidad de CO_2 desprendido respecto a la cantidad de O_2 absorbido durante el mismo tiempo, por una misma masa de material que respira. (Mazliak P. 1976)

1.8 El agua en los alimentos.

El agua tiene como principales funciones biológicas, la de transformar diferentes sustancias a través de los organismos, disolver otras y mantenerlas tanto en solución como en suspensión coloidal, debido a la capacidad de mantenerse como líquido en un intervalo relativamente amplio. Muchas de las macromoléculas con interés bioquímico, como las proteínas, las enzimas y los ácidos nucleicos, se vuelven activas cuando adquieren sus correspondientes estructuras secundarias, terciarias, etc., debido principalmente a la interacción que establecen con el agua. Es decir, las células de los tejidos animales y vegetales, así como los microorganismos, sólo se pueden desarrollar si se encuentran en un medio adecuado en donde el contenido de agua sea decisivo.

El contenido de humedad en los alimentos se refiere al contenido global de agua, sin considerar, que en la mayoría de los productos existen zonas o regiones microscópicas que, debido a una alta acumulación de lípidos no permiten su

presencia y la obligan a distribuirse de forma heterogénea. Del agua contenida en un alimento dependen las propiedades reológicas de textura, pero también es responsable en gran medida de las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas, que son las tres principales causas del deterioro de un producto. La actividad acuosa, el pH y el oxígeno son los factores que más influyen en la estabilidad de los productos alimenticios. (Badui D.S. 1997)

1.9 *Atmósferas Modificadas.*

El almacenamiento en atmósferas controladas (AC) y modificadas (AM) ha sido comúnmente usado para controlar la maduración de fruta, retardar la propagación de enfermedades, disminuir y evitar la incidencia de algunos desordenes fisiológicos durante el almacenamiento y prevenir el deterioro cuando el vegetal es maltratado, además de inhibir la pérdida de textura y color. (Guevara A.J.C. 2000)

La utilización de películas poliméricas para el envasado de productos hortofrutícolas, ha adquirido gran importancia desde los años treinta. Principalmente por el equilibrio establecido entre la permeabilidad el envase plástico y las reacciones biológicas de los vegetales. Los productos hortofrutícolas se diferencian del resto de los alimentos en que son entes vivos que continúan con su metabolismo en el momento de la recolección y durante toda la cadena de comercialización. Por lo tanto, en el interior de los envases se producirá una actividad respiratoria elevada y otros procesos metabólicos asociados con la maduración y la senescencia. Por lo que se busca principalmente que la película plástica cumpla con dos principios: prevenir la humedad del fruto creada por la alta humedad relativa de la atmósfera y un alto contenido de CO₂, así como la disminución de O₂ ocasionado por la pequeña área de la atmósfera, creando así que se reduzca la actividad respiratoria y la producción de etileno. Lo que trae como consecuencia que se retrase la maduración y/o la senescencia . La diferencia más importante entre una atmósfera modificada (AM) y una atmósfera controlada (AC) es que, en el envasado en AM, la atmósfera se genera o al menos se mantiene a merced a la interacción entre la respiración del producto

envasado y el grado de permeabilidad de los envases. (Brody A. L. 1996 ,Mathlouthi M. 1994)

1.9.1 Definición de Atmósfera Modificada.

La atmósfera modificada consiste en conservar los frutos o vegetales protegidos mediante una película plástica permeable. El principio es la modificación del contenido inicial de los gases alrededor del envase la actividad metabólica y la permeabilidad del envase.

La actividad metabólica que se produce, es mantenida dentro de la atmósfera por el control del intercambio continuo de gases alrededor de la atmósfera. A consecuencia de la actividad respiratoria la composición de la atmósfera se ve modificada; la concentración de oxígeno disminuye, la concentración de CO_2 y el contenido de vapor aumenta. Se crea un gradiente entre el fruto y el exterior facilitando la transferencia de gases entre el interior y el exterior del envase.

Un equilibrio dinámico se establece entre la producción de gases del fruto y el alrededor del microambiente. En este equilibrio, el O_2 consumido y el CO_2 producido está determinado por la temperatura del ambiente. El equilibrio entre el microambiente interior del envase y el microambiente con la atmósfera ocurre simultáneamente, obteniendo un atmósfera estable entre el envase plástico y el vegetal fresco. El equilibrio más importante entre el vegetal fresco en el microambiente y el microambiente con la atmósfera esta generado por:

1. El consumo de O_2 del vegetal y la concentración de O_2 presente en el envase.
2. La producción de CO_2 del vegetal y la concentración de CO_2 presente en el envase.

La intensidad respiratoria del vegetal, la permeabilidad del envase, la temperatura y la humedad relativa son los principales factores que determinan el equilibrio de O_2 y CO_2 dentro del envase. (Mathlouthi M. 1994)

1.9.2 Generación de la Atmósfera Modificada.

a) Atmósfera Modificada Pasiva.

La generación de una atmósfera modificada pasiva (AMP) se origina cuando las frutas y hortalizas continúan respirando después de la recolección, consumen oxígeno y producen dióxido de carbono y vapor de agua. Si las características de respiración de la fruta pueden equilibrarse exactamente a la permeabilidad del envase se podrá crear, de forma pasiva, una atmósfera modificada favorable, cuando se establece la concentración de equilibrio de oxígeno y dióxido de carbono retrasando la maduración y el reblandecimiento de frutas y hortalizas, así como reduciendo la degradación de clorofila, las podredumbres microbiológicas y los pardeamiento enzimáticos. (Parry R.T. 1993)

b) Atmósfera Modificada Activa.

El envasado en atmósfera modificada activa (AMA) se considera a la incorporación de ciertos aditivos en el interior del envasado para modificar la atmósfera del espacio de cabeza e incrementar la vida útil del producto. Bajo ésta definición se puede agrupar los absorbedores de oxígeno, los absorbedores/emisores de dióxido de carbono, los emisores de etanol y los absorbedores de etileno (Parry R.T. 1993)

1.9.3 Ventajas y desventajas del Almacenamiento en Atmósfera Modificada.

La reducción de los niveles de O_2 y el enriquecimiento de CO_2 puede reducir la intensidad respiratoria, retrasar la maduración, disminuir la producción y la sensibilidad del etileno, retrasar la pérdida de textura, reducir los cambios de la composición asociados con la maduración, reducir la degradación de la clorofila y el pardeamiento enzimático paliando, las alteraciones fisiológicas y los daños por frío; manteniendo así el color, y protegiendo las vitaminas de los productos frescos, de ese modo se consigue la calidad durante una vida útil más amplia. Los

efectos de la reducción de los niveles de O₂ y el enriquecimiento de CO₂ sobre la respiración y la maduración de los frutos y vegetales son aditivos y pueden ser sinérgicos. Sin embargo, la exposición de los productos frescos a niveles de O₂ o de CO₂ fuera de los límites de tolerancia de un producto concreto puede iniciar la respiración anaerobia con la producción de olores y sabores indeseables, así como provocar otras alteraciones fisiológicas. (Parry R.T. 1993)

1.10 Películas Plásticas

Desde los años treinta se han venido empleando películas poliméricas para el envasado de productos hortofrutícolas. Los primeros trabajos en este campo hacían énfasis en el papel de este tipo de envasado en la reducción de la transpiración; a mediados a los años 70 se despertó un gran interés para aprovechar las diferentes permeabilidades que caracterizan a las películas plásticas. (Brody A.L. 1996)

Actualmente el consumidor ejerce una demanda creciente y selectiva, está preocupado por cuestiones como: seguridad de los alimentos, dieta, aditivos y etiquetado del producto. La búsqueda de productos higiénicamente frescos y de alta calidad, ha inducido uno de los crecimientos más importantes en el sector de la moderna distribución al por menor de productos refrigerados. Durante las últimas décadas se ha producido, en este contexto, el rápido crecimiento del desarrollo del envasado de alimentos en atmósferas modificadas. (Parry R.T. 1993)

1.10.1 Características del PVC.

El cloruro de polivinilo (PVC) está constituido por un alto contenido molecular con una estructura de CH₂=CHR donde el radical R representa al átomo de cloruro. Este plástico se utiliza para la construcción, comunicaciones, industria automotriz y de envasado, así como excepcional rango de aplicaciones.

El envase de PVC para alimentos aparece principalmente en dos formas; en película plástica y contenedores rígidos. El envase de PVC presenta excelente resistencia a todo tipo de grasas animales y no animales.

El PVC es uno de los polímeros más usados y por supuesto uno de los más versátiles. Una pequeña cantidad de otros polímeros suministra una gran extensión de propiedades para satisfacer diferentes usos.

Recientemente, se determinó que la permeabilidad del PVC al CO₂ es entre 1.5 y 2 veces mayor a 10°C que a 0°C; y a 22°C resultó ser entre 2 y 3.5 veces mayor que 0°C. (Brody A.L. 1996, Mathlouthi M. 1994)

El PVC es principalmente utilizado en el envasado de brócoli a 5°C. En un periodo de tres semanas, se presenta una disminución en la pérdida de agua, una mejor conservación de las propiedades sensoriales y una disminución en la respiración. (Mathlouthi M. 1994)

El PVC posee una buena capacidad de barrera frente a los gases y moderada al vapor de agua. Posee una excelente resistencia a grasas y aceite. Las propiedades de barrera, así como las propiedades físicas, varían con el grosor, por lo tanto el calibre de espesor específico y el correspondiente polietileno que se lamina, deben elegirse con el grosor necesario para la forma y debe tenerse en cuenta más concretamente, la relación entre la superficie final formada y la superficie inicial. El PVC es molido y calandrado con la mezcla de los constituyentes requeridos para obtener la combinación deseada para adaptarse al mercado o mercados considerados por el fabricante. Esto proporciona una gama de propiedades, entre las que el fabricante de laminados o transformador puede seleccionar, para un envase de diseño profundo o delgado. (Parry R.T. 1993)

1.10.2 Características del Polietileno de Baja densidad.

El polietileno de baja densidad es una resina termoplástica, la cual se obtiene mediante la polimerización del etileno por el proceso de alta presión. Las propiedades mecánicas, elásticas y ópticas de las resinas varían con la densidad; el de baja densidad tiene una estructura amorfa, y el de alta densidad una

estructura esencialmente cristalina, la densidad está en función directa de la cristalinidad. (Barragán F.R.)

El polietileno de baja densidad se comercializa desde 1940. La estructura del polietileno de baja densidad se ilustra en la figura 6 representado por el polímero no lineal.

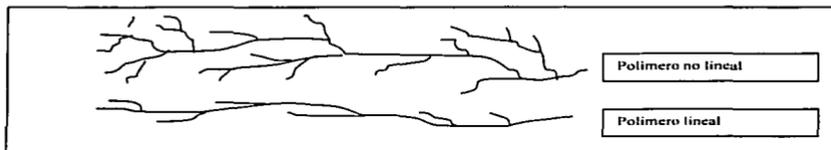


Figura 6 Representación esquemática de la estructura lineal y no lineal del polímero. La estructura no lineal representa al polietileno de baja densidad. (Brown W.E. 1992)

La clasificación se determina por la densidad del polietileno pero no siempre es conveniente indicar las propiedades específicas de cada uno de sus usos. Se justifica su utilización en una amplia proporción de plásticos, por que es extremadamente versátil. Presenta una inercia química relativa y su permeabilidad es moderadamente baja al vapor de agua, pero alta para el oxígeno. En general, la permeabilidad a los gases es alta, y también presenta un reducido efecto barrera frente a los olores; los aceites esenciales pasan rápidamente a través de los polietilenos de baja densidad. (Parry R.T. 1993, Jenking W.A. y Harrington J.P. 1991)

Los cambios en la permeabilidad como consecuencia de la modificación de la temperatura pueden ser suficientes para modificar la atmósfera de un envase. Recientemente, se han relacionado los cambios en la permeabilidad del polietileno de baja densidad con la capacidad de un envase optimizado de el polietileno destinado a contener bulbos pre-refrigerados de tulipanes para adaptarlos a las fluctuaciones de temperatura entre 15 y 25°C. Por lo tanto, parece que la elección de un tipo de película, no sólo determina la permeabilidad a una temperatura definida, sino también a la capacidad de adaptación a los cambios de temperatura. (Brody A.L. 1996)

En la tabla 4, se muestra la necesidad de emplear las propiedades complementarias para proporcionar las características particularmente deseadas para esa utilización. Se observará que el polietileno en una de sus formas es común para toda un área; el polietileno es el elemento común para proporcionar una soldadura hermética, pero también un medio para controlar características como capacidad anti-vaho, facilidad de desprendimiento, y la aptitud para soldar a través de un cierto grado de contaminación, a demás se muestra las características de otros polimeros. (Parry R.T. 1993)

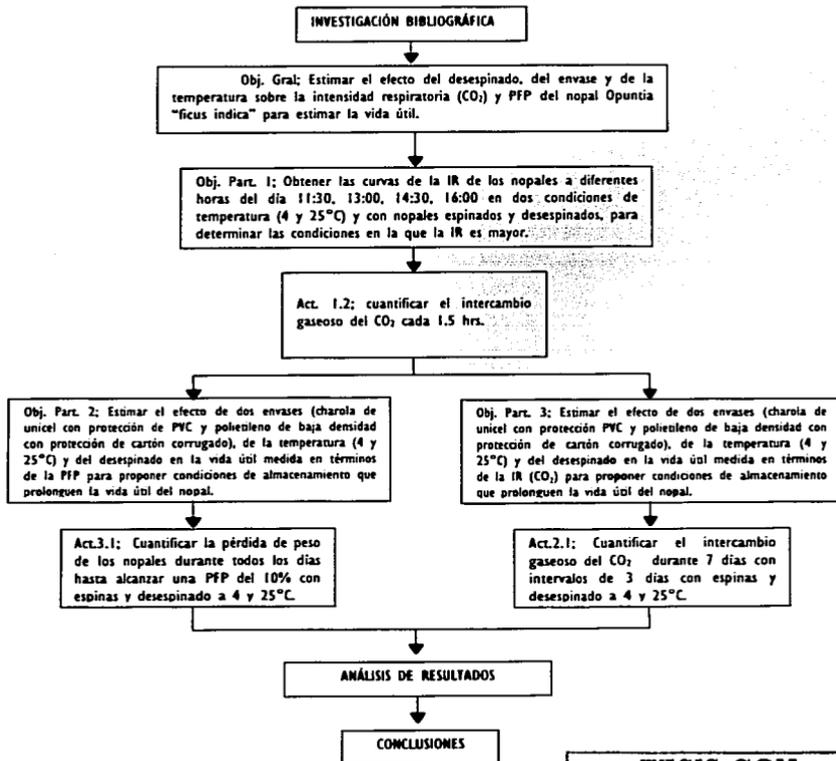
Tabla 4. Valores de permeabilidad de gases y al vapor de agua de diferentes polimeros.

Film	Transmisión de vapor de agua (g/m ² .24h) 38°C/90%HR	Permeabilidad a los gases (cm ³ /m ² .24h.atm) Films de 25µ a 25°C				Resistencia a grasas y aceites
		Oxígeno	Nitrógeno	Dióxido de carbono		
PVC rígido	30-40	150-350	60-150	450-1000	Excelente	
PVC plastificado	15-40	500-30000	300-10000	1500-46000	Buena	
Polietileno de baja densidad	18	78000	2800	42000	Pobre	
Polietileno de alta densidad	7-10	2600	650	7600	Buena-Excelente	
Poliuretano	400-600	800-1500	600-1200	7000-25000	Excelente	
Etileno-Acetato de Vinilo	40-60	12500	4900	50000	Pobre	

Parry R.T. 1993

CAPITULO II MATERIALES Y METODOS

2.1 Cuadro Metodológico



2.2. Características del nopal y condiciones experimentales.

Se utilizó el nopal *Opuntia ficus-Indica* (Linné) Millar, conocido como nopal "verdura", nopal pelón o nopal de Castilla.

Los nopales se compraron en el mercado de la Merced (México D.F.). Para el estudio se seleccionaron nopales con aproximadamente 8 a 12 cm de longitud, con un peso de 65 a 75 g, de color verde brillante y cosechados un día anterior de los cultivos de Milpalta (México D.F.). Las mediciones se iniciaron a partir del día de la compra y las mediciones se realizaron hasta alcanzar el 10% de pérdida fisiológica de peso, debido principalmente que después del valor antes mencionado, las condiciones organolépticas y firmeza se ven deterioradas y no aptas para el consumo.

2.3 Medición de la Intensidad Respiratoria.

Para la medición de la Intensidad Respiratoria (CO₂) se utilizó la técnica de dispositivo de Pettenkoffer. Ver anexo.

2.4 Medición de la Pérdida Fisiológica de Peso.

La pérdida de PFP del producto se realizó cuantificando la pérdida de peso al transcurrir el tiempo.

Procedimiento.

El día de la compra se registró el peso del producto, representando éste el 100% del peso. Se cuantificó el peso del producto en intervalos definidos de 24 horas obteniendo el porcentaje de PFP, hasta alcanzar el 10%. La pérdida de peso hace referencia al contenido de humedad del producto.

Equipo:

➤ Balanza granataria.

2.5 *Diseño experimental y análisis estadístico para determinar las curvas de Intensidad Respiratoria.*

Se realizó la medición de la producción de CO₂ del nopal "ficus Indica" a cuatro diferentes horas del día con intervalos de 1.5 hrs aproximadamente, con espinas y sin espinas a temperatura de refrigeración (4°C) y a temperatura ambiente (25°C).

Se utilizó un diseño experimental con observaciones repetidas, es decir la unidad experimental (un nopal) se midió cuatro veces durante el día. Otras dos variables independientes analizadas en este experimento fueron el desespinado y la temperatura ambiente del nopal. Se seleccionó aleatoriamente la condición experimental (tratamiento) y se midió la intensidad respiratoria diariamente.

Las variables independientes y sus valores fueron:

1. Horas del día (observaciones repetidas a las 11:30, 13:00, 14:30 y las 16:00 horas en un día)
2. Temperatura (4 y 25 °C)
3. Espinado (con espinas y sin espinas).

La variable de respuesta fue la intensidad respiratoria medida por la producción de CO₂.

El experimento completo se realizó dos veces, y en total se utilizaron ocho nopales. Se realizó un análisis de varianza; para un experimento con un factor con observaciones repetidas y dos factores en diseño completamente aleatorio.

2.6 *Diseño experimental y análisis estadístico para estimar la interacción del envase, la temperatura y el desespinado sobre la pérdida fisiológica de peso.*

Se realizaron mediciones de la pérdida de peso del nopal en dos condiciones diferentes de envasado y un experimento testigo, a dos temperaturas diferentes (4 y 25°C), con espinas y sin espinas y en intervalos de medición de 24 horas. Los envases utilizados fueron; a) Polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado; el nopal se envolvió en una película plástica del material mencionado y de manera individual se colocó dentro de una caja de cartón corrugado de 12 X 8 X 3cm. b) Charola de unicel con protección de PVC; de manera individual los nopales se colocaron en una charola de unicel y se envolvieron con película plástica de PVC. c) El experimento testigo no fue sometido a ningún tipo de envasado. Para las tres condiciones antes mencionadas se utilizaron nopales espinados y desespinaados.

Para la temperatura de 4°C los nopales se mantuvieron en refrigeración \pm 1°C. Para las condiciones de 25°C los nopales se expusieron al medio ambiente. El envase (a) se seleccionó por su bajo costo y sus propiedades de permeabilidad para el vapor de agua y gases así como buscar una presentación diferente en el mercado. El envase (b) se seleccionó por estar ya en el mercado y poder tener un patrón de referencia de un envase funcional en el mercado.

Se utilizó un diseño experimental con observaciones repetidas, es decir, la unidad experimental (un nopal) se midió diariamente hasta alcanzar el 10% PFP. Otras tres variables independientes analizadas en esta etapa experimental fueron el tipo de envase, la temperatura y el espinado. El orden y las condiciones experimentales o tratamientos de cada nopal se realizaron de manera aleatoria. Las variables independientes y sus valores fueron:

1. Tipo de envase

- Sin envase
- Polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado
- Charola de unicel con protección de PVC

2. Temperatura (4 y 25 °C)

3. Espinado (con espinas y sin espinas).

La variable de respuesta fue el número de días que tarda el nopal en perder el 10% de peso.

El experimento completo se realizó tres veces, y en total se utilizaron 36 nopales. Se realizó un análisis de varianza; para un experimento factorial con tres factores.

En los casos en los que se obtuvo un efecto significativo, se realizó la prueba de rango múltiple de Duncan para comparar los pares de medias correspondientes.

2.7 Diseño experimental y análisis estadístico para estimar la interacción del envase, la temperatura y el desespinado sobre la intensidad respiratoria.

Se cuantificó la intensidad respiratoria en base a la producción de CO₂ del nopal en ausencia de luz a dos condiciones diferentes de envasado y un experimento testigo, a dos diferentes temperaturas (4 y 25°C), con espinas y sin espinas en intervalos de tiempo de 72 horas por siete días. Las condiciones experimentales para el envasado y la temperatura se realizaron como se menciona en el punto 2.6, con la variación que cuando se realiza la medición de la producción de CO₂, el dispositivo de Pettenkoffer es colocado en una tina con hielo para mantener la temperatura de 4°C en los casos requeridos. Además para todas las condiciones, cuando se realiza la medición de la producción de CO₂, el dispositivo de Pettenkoffer se colocó en una caja, la cual no permitió la entrada de luz durante toda la medición.

Se utilizó un diseño experimental de tres factores con observaciones independientes y un factor con observaciones repetidas, es decir la unidad experimental (un nopal) se midió cada 72 horas durante siete días. Las variables independientes son la condición de envasado, la temperatura y el espinado. El orden y las condiciones experimentales o tratamientos de cada nopal se realizaron de manera aleatoria.

Los variables independientes y sus niveles fueron;

1. Tipo de envase

➤ Sin envase

➤ Polietileno de baja densidad con protección de carton corrugado.

➤ Charola de unicef con protección de PVC

2. Temperatura (4 y 25 °C)

3. Espinado (con espinas y sin espinas)

4. Tiempo (observaciones repetidas de cada nopal cada 72 horas)

La variable de respuesta fue el efecto de la producción de CO₂ en cada uno de las condiciones de envasado.

El experimento completo se realizó tres veces, y en total se utilizaron 36 nopales. Se realizó un análisis de varianza; para un experimento factorial con tres factores y un factor con observaciones repetidas.

CAPITULO III RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Curvas de la intensidad respiratoria en diferentes condiciones experimentales.

De los efectos estudiados (temperatura, horas del día y desespinado) se encontró efecto significativo exclusivamente de la temperatura. Es decir, la IR fue menor a 4 °C que a 25 °C, independientemente del desespinado y las horas del día ($p < 0.05$) como se observa en la tabla 5 y 6 de resultados y análisis de varianza respectivamente. La IR promedio obtenida para cada temperatura se muestra en la gráfica 3 y 4. Este efecto se explica porque cuando hay una disminución de la temperatura la actividad metabólica disminuye y por ende disminuye la IR de los vegetales.

Tabla 5. Resultados de la intensidad respiratoria en las diferentes condiciones experimentales estudiadas.

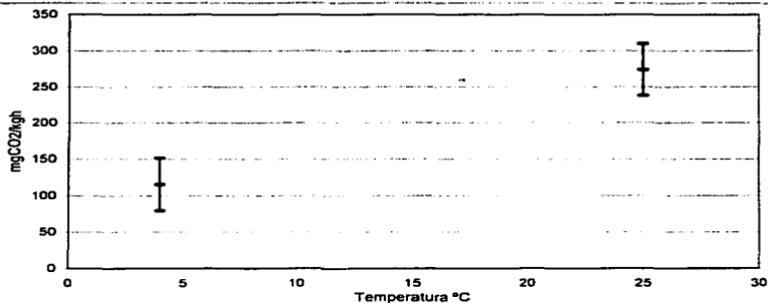
Nopal	Temp. °C	Espinado	D 11:30 IR	D 13:00 IR	D 14:30 IR	D 16:00 IR
1	25	Con espinas	130.74	88.802	114.88	
2	4	Con espinas	0	58.83	47.706	157.92
3	25	Sin espinas	114.9	89.22	226.32	
4	4	Sin espinas	30.44	0	18.48	211.29
5	25	Con espinas	375.94	344.15	405.15	409.69
6	4	Con espinas	181.79	190.38	110.84	101.08
7	25	Sin espinas	387.15	371.3	412.69	360.96
8	4	Sin espinas	31.93	204	289.05	212.903

Intensidad Respiratoria (IR) = mgCO₂/kg/h

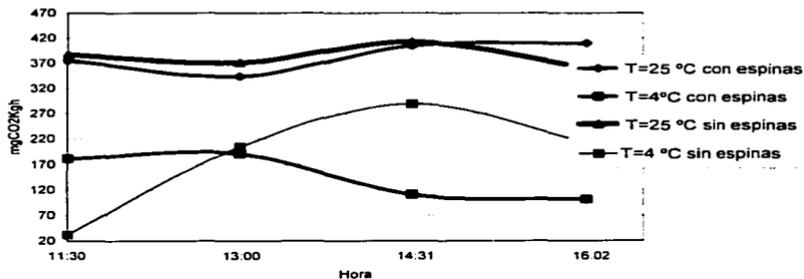
Tabla 6. Resultados del análisis de varianza de la intensidad respiratoria realizado con los datos de la tabla 5. Se observa un efecto significativo de la temperatura (*)

<i>Efecto</i>	<i>gl Efecto</i>	<i>CM Efecto</i>	<i>gl Error</i>	<i>CM Error</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Principales						
Temperatura	1*	382822.1*	2*	20676.49*	18.51485*	0.049995*
Espinado	1	426.8	2	20676.49	0.02064	0.898931
Tiempo	3	3532.8	6	7467.24	0.47311	0.712230
Interacciones						
Temp./Espinado	1	497.0	2	20676.49	0.02403	0.891029
Temp./Tiempo	3	3016.8	6	7467.24	0.40400	0.755728
Espinado/Tiempo	3	993.7	6	7467.24	0.13307	0.936818
Temp./Espinado/ Tiempo	3	3071.5	6	7467.24	0.41134	0.751014

CM = Cuadrado medio
gl = grados de libertad



Gráfica 3. Comparación de la IR promedio (\pm error estándar) obtenido a 4 y 25 °C. Los promedios incluyen los datos de nopales con espinas y desespinados, y los datos de las diferentes horas días (promedio de 16 datos). Se observa que a 25°C la IR es mucho menor que a 4°C



Gráfica 4. Efecto de la temperatura (4 y 25°C) en la IR del nopal. Se observa que la IR es menor a 4 °C.

3.1.1 Efecto del Desespinado en la Intensidad Respiratoria del Nopal.

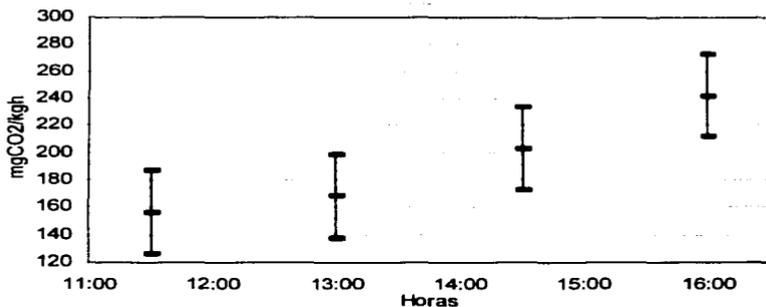
El análisis señaló que no hay diferencias estadísticamente significativas ($p=0.8989$) entre los valores promedio de los nopales con espinas y desespinaados, aunque se observa que los nopales desespinaados registraron valores mayores de IR en algunos casos con respecto a los nopales con espinas. Los valores se representan en la gráfica 4. En donde se observa, como en los nopales desespinaados a las 16:00 horas a 4 y 25 °C y a las 14:30 horas a 4 °C específicamente, la producción de CO₂ fue mayor que en los nopales con espinas. El aumento de la IR por el desespinado se puede deber a que los daños mecánicos provocados por el desespinado, ocasionan que la epidermis pierda control de sus principales funciones, entre ellas regular la pérdida de agua afectando así la intensidad respiratoria. Aunque lo anterior no se pudo comprobar estadísticamente como se presenta en la gráfica 5.

3.1.2 Efecto de las horas del día en la Intensidad Respiratoria del nopal.

El objetivo fue obtener una curva de IR del nopal, sin embargo el análisis estadístico (ver tablas 5 y 6) nos indicó que no hay diferencias en la IR en las diferentes horas del día. Quizá no se detectó estadísticamente el cambio de la IR a las diferentes horas del día porque el método utilizado para medirla fue poco preciso, o tal vez la luminosidad del laboratorio es más o menos constante en el transcurso del día y no permite obtener una secuencia de resultados con un efecto estadístico significativo. Los valores promedio se muestran en la gráfica 6 donde se ve una tendencia a incrementar la IR con respecto a las horas del día. Esto pudiera demostrarse estadísticamente repitiendo el experimento con un tamaño de muestra mayor.



Gráfica 5. Comparación del desespinado del nopal en la IR promedio (\pm error estándar). Los promedios incluyen los datos de los nopales a 4 y 25 °C y los datos de las diferentes horas del día. 1- nopal con espinas 2- nopal sin espina (promedio de 16 datos). Se observa que los nopales desespinaados tiene una tendencia a producir mayor CO₂.



Gráfica 6. Comparación de cuatro diferentes horas del día en la IR promedio (\pm error estándar). Los promedios incluyen los datos de los nopales a 4 y 25 °C y los datos de los nopales espinados y desespinaados (promedio de 8 datos). Se observa que hay una tendencia a incrementar la producción de CO₂ conforme transcurre el día.

3.2 Efecto del Envase, de la Temperatura y el Desespinado Sobre la Pérdida Fisiológico de Peso del Nopal *Opuntia "Ficus-Indica"*.

3.2.1 Efecto del Envase y la Temperatura en la Perdida Fisiológica de Peso.

Se observó que la efectividad del envase depende de la temperatura de conservación. Esto se muestra por el efecto significativo de la interacción envase-temperatura del análisis de varianza (tabla 8). A 4 °C en las tres condiciones diferentes de envasado el tiempo en alcanzar el 10% de PFP fue mayor que a 25 °C, sin embargo, esta diferencia es mucho mayor con el envase de polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado (PBD) ver gráfica 8 y 9, a una temperatura de 4 °C se conserva sin llegar al 10% de PFP en un valor promedio de 28.5 días y mientras en este mismo envase a 25 °C se conserva con un valor promedio de 5.66 días, es decir que este envase a 4 °C proporciona el mejor tiempo de vida útil (tabla 9); muy superior a las otras condiciones representados en la gráfica 8 y 9.

En la gráfica 8, se puede observar que a una temperatura de 25 °C no existe diferencia en los tiempos de conservación del nopal en el envase testigo (sin envase) y el envase 3 (charola de unigel). Esto se comprobó estadísticamente mediante la prueba de rango múltiple de Duncan (tabla 10 y gráfica 7).

En orden de menor a mayor conservación las condiciones recomendadas de acuerdo a nuestros resultados son: 1) Charola de unigel a 25 °C, 2) PBD a 25 °C, 3) Charola de unigel a 4 °C, y 4) PBD a 4 °C.

Tabla 7. Resultados del experimento para evaluar el efecto del envase, la temperatura y el espinado en la Pérdida fisiológica de peso. La variable respuesta es el tiempo que tarda el nopal en perder el 10% de peso.

Tipo de envase	Espinado	Temperatura (°C)-	PFP del 10% en días
1	Con espinas	25	2
1	Sin espinas	25	1
1	Con espinas	4	3
1	Sin espinas	4	1
2	Con espina	25	7
2	Sin espinas	25	7
2	Con espinas	4	30
2	Sin espinas	4	28
3	Con espinas	25	3
3	Sin espinas	25	2
3	Con espinas	4	8
3	Sin espinas	4	8
1	Con espinas	25	2
1	Sin espinas	25	1
1	Con espinas	4	4
1	Sin espinas	4	1
2	Con espinas	25	3
2	Sin espinas	25	3
2	Con espinas	4	29
2	Sin espinas	4	30
3	Con espinas	25	3
3	Sin espinas	25	2
3	Con espinas	4	8
3	Sin espinas	4	7
1	Con espinas	25	2
1	Sin espinas	25	1
1	Con espinas	4	3
1	Sin espinas	4	1
2	Con espinas	25	8
2	Sin espinas	25	6
2	Con espinas	4	27
2	Sin espinas	4	27
3	Con espinas	25	3
3	Sin espinas	25	2
3	Con espinas	4	7
3	Sin espinas	4	8

Tipo de envase

1= Sin envase

2= Polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado

3= Charola de unice! con protección de PVC

Tabla 8. Resultados del análisis de varianza de la tabla 7 para evaluar el efecto del envase, la temperatura y el espinado en el 10 % de la PFP del nopal.

<i>Efecto</i>	<i>dg</i> <i>Efecto</i>	<i>CM</i> <i>Efecto</i>	<i>F</i>	<i>P</i>
Principal				
Envase	2*	774.25*	546.52*	0.0*
Espinado	1*	7.11*	5.01*	0.03*
Temperatura	1*	821.77*	580.07*	0.0*
Interacción				
Envase/ espinado	2	1.36	0.96	0.39
Envase/ Temp.	2*	411.66*	290.72*	0.0*
Espinado/ Temp.	1	0.0	0.0	1.0
Envase/ espinado/ Temp.	2	1.08	0.76	0.47

gl error = 24

CM error = 1.41

(*) = Diferencia significativa

Tabla 9. Resultados promedios de la tabla 7 del efecto de la interacción Envase-Temperatura en el 10% de la PFP del producto.

<i>Envase</i>	<i>Temperatura</i> <i>(°C)</i>	<i>Días</i>
1	25	1.5
1	4	2.16
2	25	5.66
2	4	28.5
3	25	2.5
3	4	7.66

Envase:

1. Testigo
2. Polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado
3. Charola de unigel con protección de PVC.

Tabla 10. Prueba de rango múltiple de Duncan para comparar las medias de los tratamientos Envase- Temperatura. Se midió el número de días que tardó el nopal en perder el 10% de PFP.

Envase-Temp.		{1} 1.5000	{2} 2.1666	{3} 5.6666	{4} 28.500	{5} 2.5000	{6} 7.6666
1	1 {1}		0.341806	0.000060*	0.000028*	0.181334	0.000032*
1	2 {2}	0.341806		0.000108*	0.000032*	0.632160	0.000054*
2	1 {3}	0.000060*	0.000108*		0.000064*	0.000254*	0.007823*
2	2 {4}	0.000028*	0.000032*	0.000064*		0.000054*	0.000152*
3	1 {5}	0.181334	0.632160	0.000254*	0.000054*		0.000064*
3	2 {6}	0.000032*	0.000054*	0.007823*	0.000152*	0.000064*	

Envase 1 = testigo, envase 2 = polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado, envase 3 = charola de unigel con protección de PVC.

Gráfica 7. Comparación de los de los tratamientos envase- temperatura por prueba de rango múltiple de Duncan. Se midió el número de días que tardó el nopal en perder el 10% de PFP.

Días	1.5	2.16	2.5	5.67	7.66	28.5
(Envase, Temperatura)	(1,1)	(1,2)	(3,1)	(2,1)	(3,2)	(2,2)

Envase 1 = testigo, Envase 2 = polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado, Envase 3 = charola de unigel con protección de PVC.

La barra une a las medias entre las cuales no hay diferencia significativa.

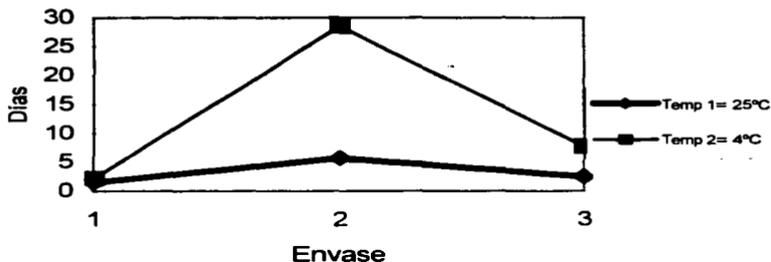


Gráfico 9. Promedio de los resultados de la PFP del 10% del nopal en diferentes condiciones de envase y temperatura. Los promedio incluyen los datos de los nopales con espinas y sin espinas (ver tabla 7 y 9). Envase 1 = Testigo, Envase 2 = Polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado, Envase 3 = charola de uniceil con protección de PVC.

3.2.2 Efecto del envase en la pérdida fisiológica de peso.

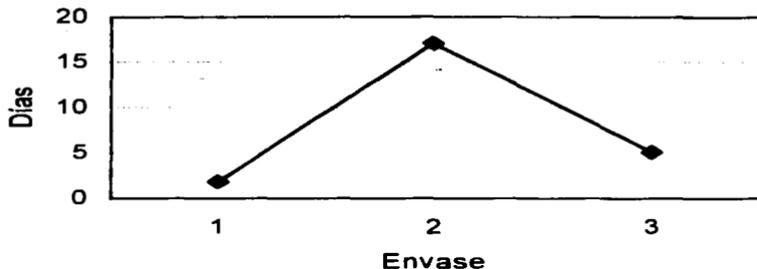
Se observó que el envase de polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado (envase 2) retarda la PFP a un máximo de 10% en promedio de 17 días con respecto al experimento testigo que alcanzó el 10% de PFP al día 2 aproximadamente y en el envase de charola de uniceil con protección de PVC (envase 3) se observó una PFP del 10% al día 5, como se representa en la gráfica 9. La conservación de los vegetales depende de la adaptación del mismo al envase y a la modificación de la atmósfera. Para el caso específico del nopal se puede señalar que la mejor conservación del producto depende de la permeabilidad al vapor de agua y no a la de los gases. El polietileno de baja densidad tiene como principal característica ser una excelente barrera al vapor de agua (Jenkins W.A. y Hamington J.P. 1991) que beneficia al nopal, como lo pudimos constatar en este experimento. En el caso del PVC la película plástica no permite la entrada y la salida de gases, teniendo mayor concentración de CO₂ en el interior y al mismo tiempo permite la evacuación del vapor de agua, lo cual no es benéfico para la conservación del nopal.

3.2.3 Efecto del desespinado del nopal en la pérdida fisiológica de peso en el nopal.

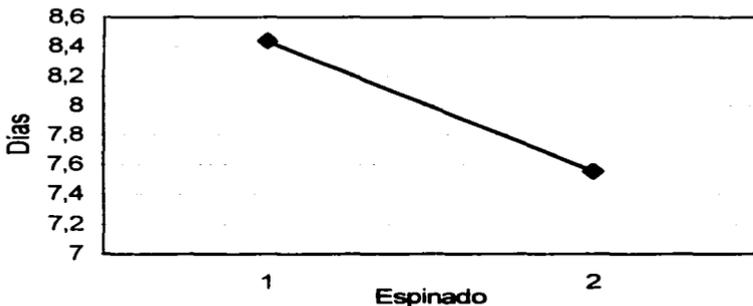
El nopal sin espinas pierde más rápidamente peso que el nopal con espinas, debido principalmente a que los estomas de la epidermis del nopal son dañados en el proceso del desespinado y existe un desequilibrio en su principal función de regular la entrada y salida del vapor de agua, CO_2 y O_2 . Estadísticamente los datos analizados son significativos, pero técnicamente no es relevante. El nopal desespinado perdió el 10 % de peso en un valor promedio de 7.55 días mientras que el nopal con espinas perdió el 10 % de peso en un valor promedio de 8.44 días ($p < 0.05$). Estos resultados se muestran en la gráfica 10.

3.2.4 Efecto de la temperatura en la pérdida fisiológica de peso del nopal.

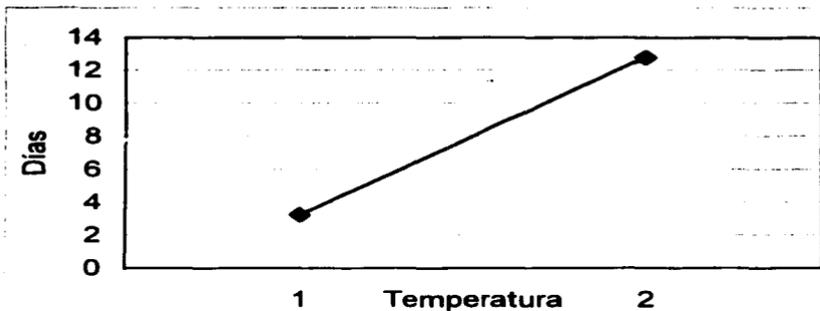
Se obtuvo que el efecto de la temperatura en la PFP del nopal es importante, de tal manera que a una temperatura de 4 °C se tuvo una PFP de 10 %, en un valor promedio de 13 días; cuando a la temperatura de 25 °C se tuvo una PFP en un valor promedio de 3 días. Del comportamiento anterior se puede observar, que a la temperatura de 25 °C el agua libre tiene mayor libertad de movimiento en el interior del producto efectuándose de manera adecuada el metabolismo del vegetal así como una mayor evacuación del agua. Al disminuir la temperatura, las reacciones enzimáticas responsables del metabolismo disminuyen su actividad debido principalmente a la disminución de energía para efectuar el proceso, además de que a baja temperatura hay menor transformación de energía solar o lumínica a energía química de tal modo que el nivel de sustratos se ve disminuido y por lo tanto el metabolismo se retarda. Ver gráfica 11.



Gráfica 9. Comparación de los valores promedio de las tres condiciones de envasado en la PFP del nopal. Los promedios incluyen los datos de los nopales a 4 y 25 °C, y los datos de los nopales espinados y desespinados (promedio de 12 datos). Envase 1 = testigo, Envase 2 = polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado, Envase 3 = charota de unisel con protección de PVC. Se observa que el envase 2 retarda por mayor tiempo la PFP.



Gráfica 10. Comparación de los valores promedio del espinado en la PFP del 10% del nopal. Los promedios incluyen los datos de los nopales a 4 y 25 °C, y los datos del envase testigo y las dos condiciones diferentes de envasado (promedio de 18 datos). 1 = nopal espinado, 2 = nopal desespinado.



Gráfica 11. Comparación de los valores promedios de la temperatura en la PFP del 10% en el nopal. Los promedios incluyen los datos de los nopales espinados y desespinados y los datos del envase testigo y las dos condiciones diferentes de envasado (promedio de 16 datos). 1 = 25°C, 2 = 4°C. Se observa que a 4°C la PFP se prolonga por más días.

ON
 TALLA DE ORIGEN

3.3 Efecto del Envase, de la Temperatura y del Desespinado Sobre la Intensidad Respiratorio del nopal.

El envase, la temperatura y el desespinado del nopal no causaron efectos significativos en la intensidad respiratoria cuando se analizaron de manera independiente, sin embargo la intensidad respiratoria del nopal observó modificaciones importantes en la manipulación de condiciones combinadas, tales como: Temperatura- Tiempo y Envase- Desespinado- Tiempo. Donde se observó que el envase y la temperatura son dos variables que permiten que la intensidad respiratoria se modifique en beneficio al tiempo de conservación del nopal. Estos resultados se presentan en la tabla 11 y en la tabla 12.

3.3.1 Efecto de la Interacción Temperatura- Tiempo en la Intensidad Respiratoria del nopal.

A la temperatura de 4 °C los valores de intensidad respiratoria son menores con respecto a los valores obtenidos a la temperatura de 25 °C en los primeros cuatro días ($p < 0.05$). Observándose que en el séptimo día el valor de intensidad respiratoria es mayor a la temperatura de 4 °C. Este comportamiento se atribuye a que a las condiciones de 25 °C en el séptimo día de experimentación el nopal se encuentra en estado de senescencia y disminuye la actividad enzimática y por consiguiente la respiración y las condiciones sensoriales se deterioran, a la temperatura de 4 °C el nopal se encontraba en mejores condiciones sensoriales y de humedad.

Observándose que la temperatura adecuada de conservación por mayor tiempo fue 4 °C como se muestra en la tabla 13 y gráfica 12. El efecto de la temperatura es evidente al reducirse el metabolismo del nopal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 11. Resultados del experimento para evaluar el efecto del envase, temperatura y espinado en la intensidad respiratoria del nopal. La variable respuesta es la producción de CO₂ en cada condición de envasado.

Tipo de envase	Espinado	Temperatura (°C)	IR al 1 Día MgCO ₂ /Kgh	IR al 2 Día MgCO ₂ /Kgh	IR al 3 Día MgCO ₂ /Kgh
1	Con espinas	25	286,12	324,72	268,39
1	Sin espinas	25	304,42	396,44	384,337
1	Con espinas	4	170,42	83,94	137,74
1	Sin espinas	4	100,41	94,01	566,33
2	Con espinas	25	271,48	200,88	190,12
2	Sin espinas	25	311,61	262,05	214,55
2	Con espinas	4	257,3	207,97	130,95
2	Sin espinas	4	350,38	202,12	142,27
3	Con espinas	25	107,04	186,44	147,48
3	Sin espinas	25	159,77	176,14	105,38
3	Con espinas	4	65,37	102,8	57,23
3	Sin espinas	4	207,05	139,19	81,74
1	Con espinas	25	182,43	189,57	84,04
1	Sin espinas	25	225,36	272	202,91
1	Con espinas	4	216,44	64,18	107,8
1	Sin espinas	4	143,17	74,03	356,11
2	Con espinas	25	143,39	100,17	174,01
2	Sin espinas	25	215,3	100,54	141,66
2	Con espinas	4	170	104,6	241,75
2	Sin espinas	4	69,64	188,93	129,98
3	Con espinas	25	168,17	130,12	121,96
3	Sin espinas	25	152,77	144,46	137,8
3	Con espinas	4	166,96	71,85	355,98
3	Sin espinas	4	136,11	39,93	333,86
1	Con espinas	25	288,23	288,19	
1	Sin espinas	25	325,18	477,99	
1	Con espinas	4	169,459	145,314	
1	Sin espinas	4	195,93	235,35	576,92
2	Con espinas	25	315,17	298,96	358,69
2	Sin espinas	25	327,27	297,72	
2	Con espinas	4	171,29	187,59	197,16
2	Sin espinas	4	180,69	253,72	194,97
3	Con espinas	25	193,47	162,02	
3	Sin espinas	25	288,75	298,98	
3	Con espinas	4	217,72	186,15	303,57
3	Sin espinas	4	219,03	237,02	333,01

Tipo de envase

1= Sin envase

2= Polietileno de baja densidad con protección de catón corrugado

3= Charola de unicej con protección de PVC



Tabla 12. Resultados del análisis de varianza de la tabla 11 para evaluar efecto del tipo de envase, la temperatura y el desespinado en la intensidad respiratoria del nopal.

Efecto	gl Efecto	CM Efecto	gl Error	CM Error	F	P
Principal						
Envase	2	31866.07	12	10771.30	2.9584	0.0902
Espinado	1	22505.47	12	10771.30	2.0893	0.1739
Temperatura	1	17282.10	12	10771.30	1.6044	0.2293
Tiempo en días	2	10382.29	24	5725.35	1.8133	0.1847
Interacción						
Envase /espinado	2	10491.67	12	10771.30	0.9740	0.4055
Envase /temperatura	2	12809.78	12	10771.30	1.1892	0.3379
Espinado /temperatura	1	1.68	12	10771.30	0.0001	0.9902
Envase /tiempo en días	4	6878.22	24	5725.35	1.2013	0.3359
Espinado /tiempo en días	2	4181.67	24	5725.35	0.7303	0.4921
Temperatura /tiempo en días	2*	26304.11*	24*	5725.35*	4.5943*	0.0204*
Envase /espinado /temperatura	2	1232.33	12	10771.30	0.1144	0.8928
Envase /espinado /tiempo en días	4*	16198.78*	24*	5725.35*	2.8293*	0.0469*
Envase /temperatura /tiempo en días	4	11592.84	24	5725.35	2.0248	0.1229
Espinado /temperatura /tiempo en días	2	4569.13	24	5725.35	0.7980	0.4617
Envase /espinado /Temp. /tiempo en días	4	5992.24	24	5725.35	1.0466	0.4040

gl = grado de libertad

CM = cuadrado medio

(*) = diferencia significativa

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 13. Resultados promedio de la tabla 11 del efecto de la interacción Temperatura- Tiempo en la intensidad respiratoria del nopal.

Temperatura (°C)	Tiempo en días	mgCO ₂ /Kgh
25	1 ^{er} día de compra	210.6550
25	4 días después de la compra	206.9608
25	7 días después de la compra	181.0531
4	1 ^{er} día de compra	171.1042
4	4 días después de la compra	114.4625
4	7 días después de la compra	220.1450

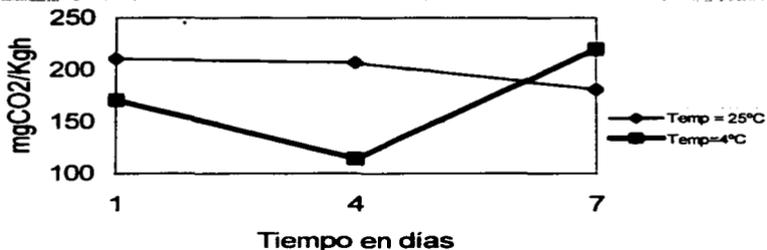


Gráfico 12 Comparación de los valores promedio de la Temperatura y Tiempo en la intensidad respiratoria del nopal . Los promedios incluyen los datos de los nopales con espinas y sin espinas, los datos del experimento testigo y las dos condiciones de envasado (ver tabla 13).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3.2 Efecto de la interacción Envase- Desespinado- Tiempo en la Intensidad Respiratoria del Nopal.

Se observó que cuando los nopales son dañados mecánicamente, la intensidad respiratoria se incrementa y aún cuando se sometieron a dos envases diferentes, los valores que se registraron en el primer día de experimentación fueron mayores para los nopales desespinaados que en los nopales con espinas, esto se explica por las múltiples lesiones que ocasiona el desespinaado. Al transcurrir el tiempo se observó que el envase controla el intercambio gaseoso entre el interior del envase donde se encuentra el producto y el ambiente exterior en beneficio del producto, tanto espinaado como desespinaado, observándose que los valores obtenidos de CO_2 en los nopales sin espinas son muy similares a los de nopales con espinas, optimizando las condiciones de conservación del nopal. La permeabilidad del polietileno de baja densidad a los gases es mayor que la película plástica de PVC. Los valores registrados para la IR en el envase de PVC fueron menores que los obtenidos en el testigo y en el polietileno de baja densidad en ambas condiciones: nopales con espinas y sin espinas. Esto se atribuye a que la concentración de CO_2 en el interior del envase de PVC aumentó, debido a que el PVC presenta propiedades de buena barrera tanto a CO_2 como a O_2 y posiblemente se desarrollaron condiciones de anaerobiosis, lo que afectó las propiedades sensoriales del nopal, no siendo adecuadas después de cuatro días. En el caso del polietileno de baja densidad, las condiciones sensoriales del nopal fueron adecuadas incluso después del séptimo día de experimentación. La intensidad respiratoria para cada condición se representan en la tabla 14 y gráfica 13 a y 13 b.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

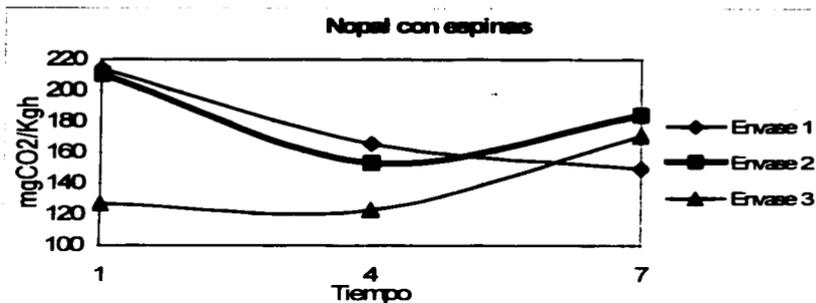
Tabla 14. Promedio del efecto de la interacción Envase- Espinado- Tiempo en la intensidad respiratoria del nopal.

<i>Envase</i>	<i>Espinado</i>	<i>Tiempo</i>	<i>MgCO2/Kgh</i>
1	Con espinas	Día de la compra del producto	213.8525
1	Con espinas	4 días después a la compra	165.6025
1	Con espinas	7 días después a la compra	149.4925
1	Sin espinas	Día de la compra del producto	193.3400
1	Sin espinas	4 días después a la compra	209.1200
1	Sin espinas	7 días después a la compra	377.4218
2	Con espinas	Día de la compra del producto	210.5425
2	Con espinas	4 días después a la compra	153.4050
2	Con espinas	7 días después a la compra	184.2075
2	Sin espinas	Día de la compra del producto	236.7325
2	Sin espinas	4 días después a la compra	188.4100
2	Sin espinas	7 días después a la compra	157.1150
3	Con espinas	Día de la compra del producto	126.8850
3	Con espinas	4 días después a la compra	122.8025
3	Con espinas	7 días después a la compra	170.6625
3	Sin espinas	Día de la compra del producto	163.9250
3	Sin espinas	4 días después a la compra	124.9300
3	Sin espinas	7 días después a la compra	164.6950

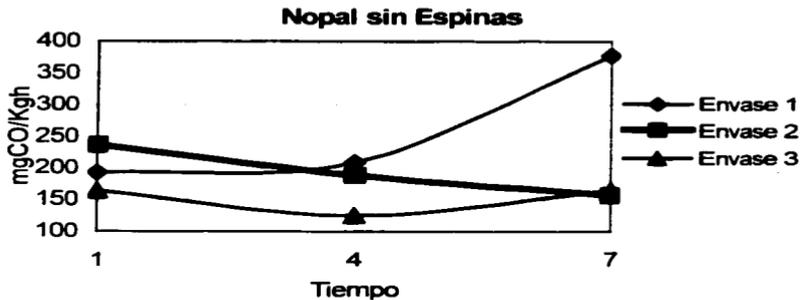
Envase:

- 1- Testigo
- 2- Polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado
- 3- Charola de unisel con protección de PVC.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



Gráfica 13a. Efecto del Envase, Espinado y Tiempo en la intensidad respiratoria del nopal con espinas.



Gráfica 13b Efecto del Envase, Espinado y Tiempo en la intensidad respiratoria del nopal sin espinas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES

- La curva de IR obtenida a las diferentes horas de medición del experimento no proporcionó un comportamiento para establecer la hora de mayor IR del nopal y poder establecer la hora de medición en el punto mayor de producción de CO₂.
- La humedad fue regulada al someter al producto a una atmósfera que no permitiera la salida de la humedad del producto y lo mantuviera en equilibrio. El envase de polietileno de baja densidad con cartón corrugado disminuyó la pérdida de humedad, prolongando la vida útil en un promedio de 28 días a una temperatura de 4 °C con espinas y sin espinas. El uso de la charola de unigel con protección de película plástica de PVC alcanzó el 10 % de PFP en un valor promedio de 7.6 días a una temperatura 4 °C y 2.5 días a una de 25 °C. Sin envase a 4 °C el nopal se conserva en un promedio de 2.1 días, siendo entonces, el polietileno de baja densidad a una temperatura de 4°C el mejor envase para retener la humedad de producto.
- De lo anterior se concluye que el envase de charola de unigel con protección de PVC tiene mayor capacidad para retener los gases generados por el producto y no permite el ingreso del oxígeno al mismo, además la película plástica presenta permeabilidad al vapor de agua, lo cual no fue favorable, pues en estas condiciones las propiedades de textura, firmeza y color se vieron deterioradas. En el caso de polietileno de baja densidad con cartón corrugado ocurrió lo contrario, observándose que la humedad del producto es retenida en el interior del envase disminuyendo la PFP.
- La temperatura de 4 °C fue un factor de importancia para la conservación del nopal al disminuir la IR.
- La IR se mantuvo similar al experimento testigo en el envase de polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado debido a las características de permeabilidad a CO₂ y O₂ que presenta esta película, de

tal manera, que se conservaron las propiedades de color, textura y firmeza en el nopal.

- La IR que se obtuvo en el envase de unicel con protección de PVC fue menor que en las otras condiciones experimentales, pero la concentración de CO₂ que se genera dentro del envase proporciona condiciones inadecuadas para la conservación del producto.
- El desespinado del nopal causa un daño mecánico en el producto, que se ve reflejado en un incremento en la intensidad respiratoria, principalmente por que la epidermis tiene entre sus funciones principales regular la entrada y salida de gases a través de la apertura de los estomas.
- La temperatura y el envase tienen un efecto determinante en la vida útil del nopal. Al igual que otros vegetales la humedad juega un papel importante en las propiedades sensoriales del producto, debido a que el agua es uno de los principales sustratos para que se lleve a cabo la respiración. Así mismo, a menor temperatura, menor actividad enzimática y por ende menor IR. El envase ayudó a mantener en equilibrio la humedad del producto y regular el intercambio de gases.
- El envase adecuado para la conservación del nopal con espinas y sin espinas es el polietileno de baja densidad con protección de cartón corrugado a una temperatura de 4 °C. Por lo que se puede señalar que la adecuada conservación del productos vegetales como el nopal, depende directamente de las propiedades de permeabilidad al agua y a los gases (CO₂ y O₂) de las películas plásticas y de la temperatura. Que permiten alcanzar un equilibrio con el producto retardando el metabolismo en beneficio de las propiedades de textura, color y de firmeza. Principales características para que el producto sea aceptado por el consumidor.

RECOMENDACIONES

1. La operación poscosecha del desespinado deberá realizarse con cuidado evitando daños a la epidermis.
2. Realizar la experimentación a partir del día de cosecha del nopal y almacenar en refrigeración.
3. La temperatura de almacenamiento es un factor determinante para la conservación del nopal.
4. Todas las repeticiones deberán realizarse bajo condiciones controladas de temperatura y ambiente.
5. La medición de la IR deberá realizarse por lo menos dentro los 28 días poscosecha.
6. Se recomienda un tamaño de muestra mayor para obtener la curva de IR con respecto a las horas del día.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Anexo

Técnica de medición de producción de CO₂: Dispositivo de Pettenkoffer

La medición del intercambio gaseoso resultado de la respiración de órganos vivos se basa en la recuperación del CO₂ producido, el cual es extraído de una cámara modificada, mediante un flujo de aire que se hace pasar por una solución de hidróxido de bario estandarizada al 0.1N en la que el CO₂ queda capturado y posteriormente es valorado con solución de ácido clorhídrico al 0.1N.

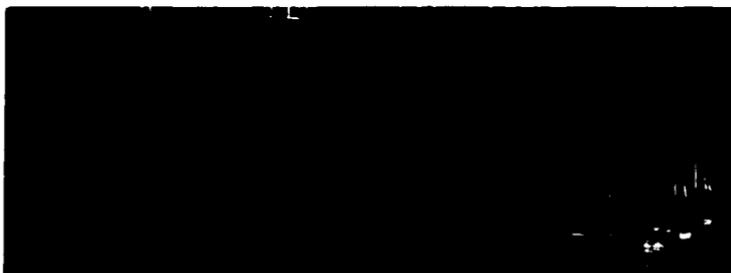


Figura 7. Dispositivo de Pettenkoffer.

Reactivos.

- Hidróxido de bario Ba(OH)₂ 0.1N.
- Ácido clorhídrico HCl 0.1N.
- Fenolftaleína al 1%.
- Biftalato de potasio 0.1N
- Carbonato de sodio Na₂CO₃ 0.1N

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Material.

- Tubos de Pettenkofer.
- Probeta de 100 ml
- Matraz Elermeyer de 100 ml
- Bureta
- Balanza
- Termómetro
- Espirómetro
- Soporte universal
- Bomba de vacío
- Desecador

Procedimiento.

Se estandarizaron las soluciones de $Ba(OH)_2$ y HCl al 0.1N con las soluciones patrón de biftalato de potasio (0.1N) y Carbonato de sodio (0.1N) respectivamente.

Se colocaron 60 ml de solución de $Ba(OH)_2$ al 0.1N en el tubo de Pettenkoffer con unas gotas de fenolftaleina. El nopal se pesó y colocó en la cámara. Posteriormente se extrajeron los gases generados en la cámara utilizando un flujo de aire de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ y después de una hora de medición se

$$\frac{(T_b - T_m) \times (2.2) \times (1000)}{(t) \times (P)} = \frac{\text{mgCO}_2}{\text{Kgh}}$$

valoró la solución de $Ba(OH)_2$ con HCl al 0.1N mediante la siguiente fórmula;

Donde;

T_b = ml de HCl 0.1N usados en la titulación del blanco.

T_m = ml de HCl 0.1N usados en la titulación de la muestra.

P = peso del nopal en gramos.

t = tiempo en horas.

2.2 = $\text{mgCO}_2 / \text{ml HCl 0.1N}$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA

1. Badui D.S., "Química de los Alimentos", Ed Alhambra México 1996.
2. Barragán F.R., "Polietileno Tecnología y Proceso", Manual Práctica para la Industria.
3. Bidwell, "Fisiología Vegetal", primera edición, AGT EDITOR.
4. Bigwell R.G.S., " Fisiología Vegetal", AGT Editor, México 1979.
5. Bravo H.H. , "Las Cactáceas de México", UNAM México 1937.
6. Brody A.L. "Envasado de Alimentos en Atmósferas Controladas, Modificadas y a Vacío", Ed Acribia S.A., Zaragoza (España) 1996.
7. Brown W.E., "Plastics in Food Packaging", Marcel Dekker, Inc., New York 1992.
8. Campbell P.N., Smith A.D., " Biochemistry Illustrated", Churchill Livingstone, China 1999.
9. Duran T.S., "Frigoconservación de la fruta", Ed. AEDOS, Barcelona 1983.
10. Fernández G., Johnston M., "Fisiología Vegetal Experimental", Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José Costa Rica 1986.
11. Flores V.E., "La planta, estructura y función", Ed. LUR, Cartago (Costa Rica) 1999.
12. Guevara A.J.C. "Estudios Sobre los Efectos de las Atmósferas Controladas durante el almacenamiento del Nopal", UNAM, Facultad de Química 2000.
13. Hills F.S, Flores V.C.A, Scheinvar L., Nobel P.S., Agro-Ecology " Cultivation and Uses of Captus Pear", FAO 1995.
14. Jenking W.A. and Harnington J.P., " Packaging Food with Plastic", Technomic Publishing CO. INC., Lancastes, Pennsylvania, USA. 1991.
15. Mathlouthi M., "Food Packaging and Preservation", Ed. Blackie Academic Profesional, Tokyo 1994.
16. Mazliak P., "Fisiología Vegetal Nutrición y Metabolismo", Ediciones Omega, Barcelona 1976.

17. Mendenhall W., "Introducción a la Probabilidad y la Estadística", Grupo Editorial Iberoamérica, México 1987.
18. Parry R.T., " Envasado de los Alimentos en Atmósferas Modificadas", A Madrid Vicente ediciones, Madrid España 1993.
19. Risch S.J. " Food Packaging", American Chemical Society, Washintong 2000.
20. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), México 2002.
21. Villegas G.M., " El nopal como alimento tradicional mexicano", Cuadernos de Nutrición, Vol. 18, Núm. 3, Mayo-Junio 1995.
22. Wiley R.C.Ph.D.; "Frutas y Hortalizas Mínimamente Procesadas y Refrigeradas", Ed. Acribia S.A., Zaragoza (España) 1997.